
People
Software
Data
Hardware
GIS
Approaches
مبادئ
علم نظم المعلومات الجغرافية
GIS Science
د. جمعة محمد داود
vector
Maps
web
Field
Processing
Base Maps
١٤٣٥ هـ / ٢٠١٤ م

مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية

Principles of GIS Science

د. جمعة محمد داود

Gomaa M. Dawod

النسخة الأولي

١٤٣٥ هـ / ٢٠١٤م


بسم الله الرحمن الرحيم



اتفاقية الاستخدام

للإشارة إلى هذا الكتاب - كمرجع – برجاء إتباع النموذج التالي:

باللغة العربية:

داود ، جمعة محمد ، ٢٠١٤ ، مبادئ علم نظم المعلومات الجغرافية ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية.

باللغة الانجليزية:

Dawod, Gomaa M., 2014, Principles of GIS Science (in Arabic), Holy Makkah, Saudi Arabia.

مقدمة النسخة الأولى

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ و الحمد لله العليم القدير الذي وهبني علما ووفقني في حياتي ، والصلاة والسلام علي معلم الأمم و خير البرية محمد بن عبد الله عليه الصلاة و السلام.

أدعو و أبتهل إلى مولاي و خالقي عز و جل أن يتقبل مني هذا العمل لوجهه الكريم فما أردت إلا إرضاؤه تعالى وتحقيقا لقول رسوله الكريم أن عمل ابن ادم ينقطع بعد موته إلا من ثلاث أحدهم: علم ينتفع به.

أردت أن أقدم عملا باللغة العربية عن **المبادئ والمفاهيم الأساسية لعلم نظم المعلومات الجغرافية** بما يناسب طلاب المستوي الأول بالمرحلة الجامعية، فهذا ليس مرجعا شاملا، وإنما هو مدخل فقط. والكتاب الحالي يهتم بالجانب النظري فقط حيث أن لي كتابين أخريين كانا يتعلقان بالجانب التطبيقي العملي سواء في تطوير الخرائط الرقمية أو التحليل المكاني للبيانات، وبالتالي فأن الكتب الثلاثة معا من الممكن أن يعدوا مجموعة متكاملة في نظم المعلومات الجغرافية.

والكتاب الحالي هو التاسع - بفضل الله تعالى و توفيقه - من سلسلة كتبي الرقمية المخصصة لوجه الله تعالى وابتغاء مرضاته، وهي الموجودة في العديد من مواقع شبكة الانترنت. كما أود أن أشير لقيامي بترجمة بعض المصطلحات التقنية إلي اللغة العربية، فان كنت قد أصبت في الترجمة فلي أجر و إن كنت قد أخطأت فلي أجران كما قال رسول الله صلي الله عليه وسلم، فأرجو ألا تستغربوا من بعض هذه المصطلحات العربية الجديدة.

أيضا تجدر الإشارة لوجود عدد كبير من الكتب باللغة العربية عن نظم المعلومات الجغرافية، إلا أنني أردت تقديم وجهة نظر و طريقة عرض مختلفة في الكتاب الحالي فلم أعتمد إلا علي المراجع الأجنبية فقط. وهذه تجربة أرجو أن تنجح ويمكنكم إبداء آرائكم فيها بصراحة.

أدعو كل قارئ و كل مستفيد من هذا الكتاب أن يدعو الله تبارك و تعالى أن يغفر لي و لوالدي ، وأيضا ألا يحرمني من رأيه و تعليقاته وتصويباته - فلا يوجد كتاب إلا و به نواقص و أخطاء - سواء عبر البريد الالكتروني أو عبر منتدى الهندسة المساحية في:

http://surveying.ahlamontada.com/

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ ..... **وقل ربي زدني علما** .... صدق الله العظيم.

جمعة محمد داود

dawod_gomaa@yahoo.com

مكة المكرمة: شعبان ١٤٣٥ هـ

إهداء

إلي من كان سببا في وجودي في هذه الدنيا

إلي من أتشرف بحمل اسمه

إلى:

أبي

(رحمة الله عليه)

كتب أخري للمؤلف

١- المدخل إلى الخرائط
٢- المدخل إلى الخرائط الرقمية
٣- التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية
٤- مبادئ المساحة
٥- المدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع
٦- أسس المساحة الجيوديسية و الجي بي أس
٧- مقدمة في الصور الجوية و المرئيات الفضائية
٨- الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية

وكل هذه الكتب المجانية (بالإضافة لمواد تدريبية و ملفات تعليمية أخري) متاحة للتحميل كاملة في عدد كبير من مواقع شبكة الانترنت و منهم علي سبيل المثال:

- صفحتي علي موقع جامعة أم القرى في الرابط:

http://www.uqu.edu.sa/staff/ar/4260086

- صفحتي علي موقع أكاديميا في الرابط:

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod

- المكتبة الرقمية المساحية المجانية في الرابط:

http://www.4shared.com/u/vJBH8xk_/__online.html

بالإضافة إلي ٣٢ محاضرة فيديو علي اليوتيوب في قناتي بالرابط:

https://www.youtube.com/channel/UCcVBq89iSKrtYhxdyuQKIqA

قائمة المحتويات

المحتويات	صفحة

المحتويات	صفحة

المحتويات صفحة

المحتويات | صفحة

المحتويات صفحة

صفحة **المحتويات**

الباب الأول: مقدمة

Introduction

الفصل الأول: مقدمة

Introduction

الفصل الثاني: أمثلة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية

A Gallery of Applications

الفصل الأول

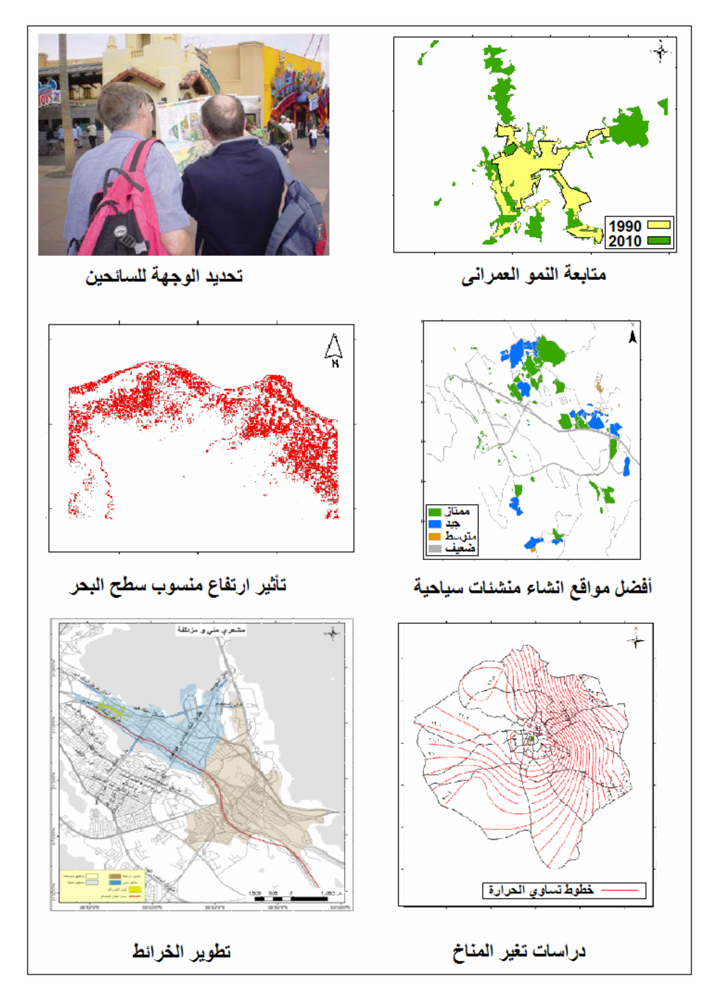
مقدمة

١-١ لماذا الاهتمام بنظم المعلومات الجغرافية؟

من المعروف أن أي حدث يحدث في مكان محدد، ويهتم الانسان بمعرفة "موقع" أو مكان أي حدث علي سطح الأرض. فنحن نحيا علي سطح الأرض و نسافر في أجوائها و بحارها ونحفر الأنفاق داخلها، ومن هنا فأن معرفة "مواقع" النشاطات البشرية يعد أمرا بالغ الأهمية. فمعرفة أين يقع حدث ما يمكننا من أن ننتقل الي هذا المكان أو نرسل أحدا اليه بهدف جمع معلومات أكثر عن هذا الحدث و مكانه وآثاره و تبعاته. ومن هنا يمكن القول أن أي قرار يتطلب تبعات "مكانية أو جغرافية" ومن ثم فأن الموقع المكاني أو الموقع الجغرافي هو أحد أهم عناصر اتخاذ القرارات و تطوير السياسات وبناء الخطط في أي مجتمع. ان نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems - أو اختصارا GIS - هي نوع خاص ومميز من نظم المعلومات التي ليس فقط تراقب و تتابع الاحداث و المتغيرات و الأنشطة وإنما أيضا تحدد "مواقع أو أماكن" هذه الأحداث و الأنشطة البشرية.

لأهمية تحديد المواقع فأن هذا الأمر أصبح عنصرا هاما في حل مشاكل المجتمعات الانسانية. وربما نحن لا ندري أن أمورا حياتية يومية تتطلب منا الاعتماد علي المعلومات المكانية، فعلي سبيل المثال فنحن يوميا نتخذ قرارا ذا طبيعة مكانية عندما نحدد في كل صباح أي الطرق التي سنسلكها للوصول للعمل و العودة منه. وتسمي المشاكل التي تتطلب الاعتماد علي معلومات مكانية باسم "المشكلات الجغرافية" ومن أمثلتها: (أ) يعتمد مسئولو الرعاية الصحية علي المعلومات المكانية في تحديد مواقع انشاء المراكز الصحية و المستشفيات الجديدة، (ب) يعتمد مهندسو شبكات المواصلات علي المعلومات المكانية في اختيار أفضل مواقع انشاء الطرق الجديدة، (ج) يعتمد السياح علي المعلومات المكانية في اختيار أماكن الترفيه و مواقع الفنادق ومواقع الاثار أثناء تجوالهم، (د) يعتمد المزارعون علي المعلومات المكانية في تحديد أماكن وضع الشتلات الجديدة وأيضا مواقع التسميد في مزارعهم، (ذ) يعتمد مهندسو الانشاءات المدنية علي المعلومات المكانية في متابعة مواقع أجزاء المنشئات طوال فترة تنفيذ المشروع، (ر) يعتمد مسئولو الحماية المدنية علي المعلومات المكانية في تحديد مواقع التضرر من الكوارث الطبيعية - مثل السيول والانهيارات الأرضية - ووضع الخطط اللازمة للتقليل من اثارها السلبية ..... الخ. وبذلك فأن استخدام أو تطبيق نظم المعلومات الجغرافية GIS لم يعد في وقتنا الحالي أمرا أكاديميا يتم داخل الجامعات و مراكز البحوث انما صار

روتينا يطبق باستمرار داخل الجهات الحكومية و الشركات الأهلية الخاصة للوصول لحلول عملية دقيقة لمشكلات مجتمعية.



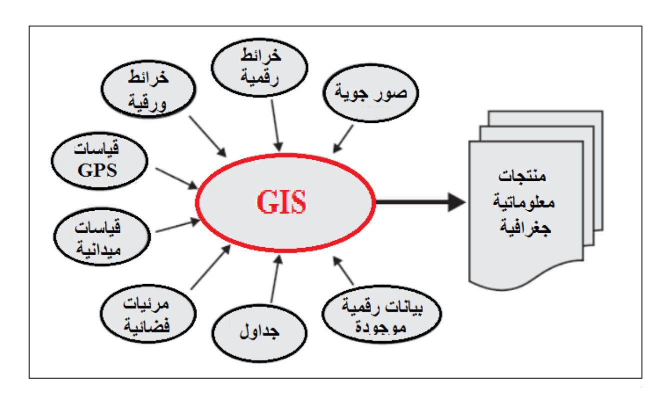
شكل ١-١: أمثلة للمشكلات الجغرافية

١-٢ نظم المعلومات الجغرافية أم المكانية؟

تشير الصفة "الجغرافية Geographic" الي أن هذه النوعية من نظم المعلومات تهتم بالمعلومات عن سطح الأرض. إلا أن هناك مصطلحا اخر يتم تداوله أيضا و هو نظم المعلومات "المكانية Spatial Information Systems" مما يجعل مجال عمل نظم المعلومات المكانية يتخطى سطح الأرض ليكون في أي "مكان". فعلى سبيل المثال يستخدم هذا العلم في دراسة الكواكب الأخرى وليس كوكب الأرض فقط، كما تم تطبيقه في المجال الطبي لدراسة و تحليل المعلومات عن الجسم البشري، مما يجعل مصطلح نظم المعلومات "الجغرافية" ليس هو الأمثل في هذه التطبيقات الحديثة. ومع استخدام مصطلح نظم المعلومات المكانية SIS فقد ظهر في السنوات الأخيرة مصطلحا جديدا وهو " المعلومات المكانية الأرضية أو Geospatial

Information " ليدل علي نوع خاص من المعلومات المكانية التي تتعلق فقط بالأرض. فعلي سبيل المثال فقد تغير اسم وكالة الاستخبارات و الخرائط الأمريكية National Intelligence Mapping Agency في عام ٢٠٠٣م (١٤٢٤ هـ) الي اسم وكالة الاستخبارات المكانية الأرضية National Geospatial-Intelligence Agency. ومع نهاية القرن العشرين الميلادي ظهر أيضا مصطلح "الجيوماتكس Geomatics" أو المعلوماتية الأرضية ليدل علي مظلة علمية أو علم أو تخصص يضم بالإضافة لنظم المعلومات الجغرافية عدة علوم و تقنيات أخري مثل الهندسة المساحية و الاحصاء و علوم الحاسب الالي و تقنيات النظام العالمي لتحديد المواقع و الاستشعار عن بعد. ومنذ ذلك الحين فقد غيرت بعض الجامعات اسم قسم الهندسة المساحية بها ليصبح تحت مسمي قسم الجيوماتكس.

تساعدنا نظم المعلومات - بصفة عامة - علي ادارة ما نعرف من معلومات من خلال تسهيل عمليات ترتيب و تخزين و استرجاع و صيانة و تحليل هذه المعلومات بهدف الوصول لحلول للمشاكل التي تواجهنا. وفي هذا الاطار يجب أن نفرق بين مصطلحي البيانات Data و المعلومات Information، فالبيانات هي مجموعة من الأرقام و النصوص في صورتها الخام raw والتي يمكن جمعها في ما يعرف باسم قاعدة البيانات Database. أما المعلومات فهي ناتج عمليات تمت علي البيانات مثل عمليات الاختيار و الترتيب و التحليل بناءا علي هدف محدد، وبالتالي فيمكن القول أن المعلومات هي ما يمكن استخلاصه من دراسة و تحليل البيانات الخام. وهنا تبرز واحدة من أهم مميزات نظم المعلومات الجغرافية - أو المكانية - حيث تسهل لنا تخزين و دمج عدة أنواع من قواعد البيانات و تحليلها و استنباط معلومات جديدة منها تخدم الهدف المراد الوصول اليه. وتزيد نظم المعلومات الجغرافية من مرونة استخدام البيانات الخام، فبدمج عدة أنواع من البيانات متعددة المصادر في إطار تكاملي واحد (أي نظام معلومات جغرافي) فتزداد قدراتنا في تمثيل و تحليل البيانات والاستفادة منها بتحويلها إلي منتجات معلوماتية (الشكل ١-٢).

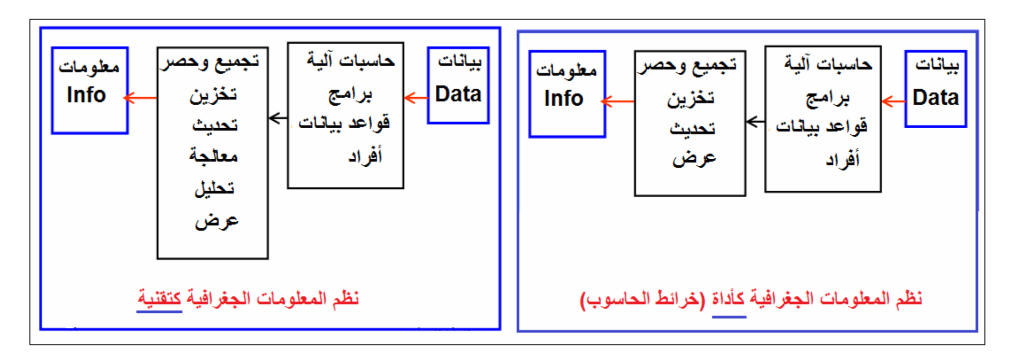


شكل (١-٢) البيانات و المعلومات الجغرافية

١-٣ ماهية نظم المعلومات الجغرافية؟ أداة أم تقنية أم علم؟

تختلف النظرة لنظم المعلومات الجغرافية اختلافا شاسعا، بل أن تعريف مصطلح نظم المعلومات الجغرافية ذاته يتعدد بدرجة كبيرة مما يجعل الكثيرون يتساءلون عن ماهية هذه النظم وهل هي مجرد أداة حاسوبية أم تقنية أم أنها علم في حد ذاته. فمن أمثلة أبسط تعريفات نظم المعلومات الجغرافية أنها وعاء لحفظ بيانات الخرائط في صورة رقمية، وهنا يمكننا أن نعتبر نظم المعلومات الجغرافية مجرد "أداه tool" لتحويل الخرائط الورقية الي خرائط رقمية. أيضا نجد تعريفا اخر يقول أن نظم المعلومات الجغرافية هي "أداه حاسوبية لحل المشكلات الجغرافية ". كما نجد أيضا من يعرف نظم المعلومات الجغرافية علي أنها "أداة لعمل قياسات أو عمليات علي البيانات الجغرافية كانت ستكون أكثر صعوبة بتنفيذها يدويا علي الخرائط الورقية. وربما ظهرت مثل هذه التعريفات مع بداية ظهور مصطلح نظم المعلومات الجغرافية ذاته منذ عدة عقود حيث كانت النظرة العامة لهذه الاداة لتطوير الخرائط الرقمية ومقارنتها مع الطرق التقليدية لاستخدامات الخرائط الورقية.

بعد عقدين من ابتكار نظم المعلومات الجغرافية و استخدامها كأداة، تطور تعريف هذا المصطلح بعد أن بدأت في الظهور تطبيقات جديدة تعتمد ليس فقط علي حفظ البيانات الجغرافية في صورة رقمية بل تخطتها الي تحليل هذه البيانات بهدف الوصول لحلول علمية و عملية لمشكلات مجتمعية قائمة في عدد كبير من التخصصات و الاهتمامات. ومن ثم تخطت نظم المعلومات الجغرافية مرحلة "الاداة" لتصل الي مرحلة "التقنية technology" حيث صارت تعتمد في داخلها علي التكامل بين عدة علوم مثل علوم الجغرافيا و الكارتوجرافيا و الجيوديسيا و الاحصاء و الكمبيوتر بجانب تقنيات الاستشعار عن بعد و نظم تحديد المواقع. وفي هذا الاطار يأتي تعريف معهد البحوث و النظم البيئية (المعروف باسم شركة ازري ESRI) لنظم المعلومات الجغرافية علي أنها " مجمع متناسق يضم مكونات الحاسب الآلي و البرامج و قواعد البيانات والأفراد المدربين ويقوم هذا المجمع بحصر دقيق للمعلومات المكانية و غير المكانية و تخزينها و تحديثها و معالجتها و تحليلها و عرضها". وفي الشكل التالي يمكن ملاحظة الفرق بين كون نظم المعلومات الجغرافية كأداة أو كتقنية في وجود كلمتي "معالجة" و "تحليل" البيانات.



شكل (١-٣) نظم المعلومات الجغرافية

ولتوضيح هذا الفرق الرئيسي بين خرائط الحاسوب (النظم كأداة) و نظم المعلومات الجغرافية (كتقنية) فلنأخذ مثالا بسيطا: لإنشاء خريطة لتوزيع مواقع المدارس في مدينة مكة المكرمة فسيقوم المتخصص في الخرائط الرقمية بإنشاء خريطة أساس للمدينة (من خرائط ورقية مثلا) ثم سيقوم بتحديد مواقع المدارس في الطبيعة (بأجهزة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS علي سبيل المثال) ثم سيقوم بتجميع البيانات غير المكانية للمدارس (نوع المدرسة و المرحلة التعليمية و عدد الطلاب ...الخ) ثم سيقوم بإنشاء قاعدة بيانات رقمية لهذه البيانات المكانية و غير المكانية للمدارس في مدينة مكة المكرمة. ومن ثم يمكن لهذا المستخدم إنشاء عدد من الخرائط الرقمية (وطباعتها بعد ذلك) لتوزيع المدارس في مكة المكرمة سواء جميع المدارس أو خريطة لتوزيع المدارس في كل مرحلة تعليمية معينة وكذلك خرائط موضوعية كمية لتوزيع عدد الطلاب و عدد المعلمين في كل مدرسة ... وهكذا. فان قام المستخدم بكل هذه الخطوات فيكون قد أدي عمله تماما كراسم خرائط رقمية. أما المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية (الذي سيستخدمها كتقنية) فسيكون لديه عدة أهداف أو خطوات أخري قبل أن يكمل هذا المشروع التطبيقي. فعلي سبيل المثال فعلي هذا المتخصص أن يدرس نمط توزيع المدارس في هذه المنطقة الجغرافية وهل هو نمط منتظم يغطي كافة أنحاء المدينة أم نمط متجمع في بقعة محددة، وبالتالي يحدد إن كانت هناك حاجة لإنشاء مدارس جديدة في هذه المدينة لكي يصبح توزيع المدارس منتظما ويلبي حاجة كافة سكان المدينة أم لا. كما أن هذا المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية – ربما – سيقوم أيضا بدراسة موقع كل مدرسة وهل هو يلبي الاشتراطات والمواصفات المتعارف عليها لمواقع المدارس أم لا. ومن خلال التحليلات المكانية يقوم بتحديد معامل ملائمة لكل مدرسة ليقيس من خلاله درجة ملائمة موقع المدرسة للمواصفات المكانية المحددة، وبالتالي يقوم بإعداد تقرير عن المدارس المقامة في مواقع غير آمنه من الناحية الهندسية و البيئية. وربما قام متخصص نظم المعلومات الجغرافية أيضا بالمضي قدما - في دراسته لهذه الظاهرة – ليحدد أنسب المواقع الجغرافية المناسبة لإنشاء

مدارس جديدة في هذه المنطقة سواء من حيث حاجة سكان أحياء المدينة أو من حيث اختيار مواقع ملائمة توافي متطلبات مواصفات إنشاء المدارس. أيضا سيقوم هذا المتخصص بمحاولة التنبؤ الإحصائي المستقبلي لعدد المدارس المطلوبة بعد عدة سنوات وإعداد توقعات بمواقع و أنواع المدارس. وخلاصة القول – من هذا المثال البسيط – أن إعداد خرائط رقمية أيا كان نوعها و عددها وألوانها المبهرة الجميلة هو تطبيق لتقنية خرائط الحاسوب أو استخدام نظم المعلومات الجغرافية كمجرد أداة وليس استخداما كاملا أو علميا لوظيفة نظم المعلومات الجغرافية كتقنية.

يتعلق المستوي الثالث من مستويات تعريف نظم المعلومات الجغرافية باعتبارها علم GIS Science وليس مجرد تقنية. وكان أول ظهور لمصطلح "علم نظم المعلومات الجغرافية GIS Science" في عام ١٩٩٢ م (١٤١٢ هـ) في بحث منشور للدكتور Michael Goodchild. ثم ظهرت بعد ذلك عدة مصطلحات تحمل نفس المعني مثل الجيوماتكس Geomatics وعلم المعلوماتية الأرضية Geoinformatics وعلم المعلومات المكانية Spatial Information Science والهندسة الجيو-معلوماتية Geoinformation Engineering. فعلم نظم المعلومات الجغرافية يهتم بتطوير أسلوب علمي لكل القضايا المتعلقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و التقنيات الأخرى المصاحبه لها. وبمعني اخر فأنه العلم الذي يستخدم مجال برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لتحديد و تحليل و حل المشاكل القائمة. وتجدر الاشارة لوجود مؤتمر دولي يعقد في الولايات المتحدة الامريكية منذ عام ٢٠٠٠م تحت اسم مؤتمر علم نظم المعلومات الجغرافية (www.giscience.org). فإذا نظرنا لموضوعات هذا المؤتمر في دورته الحالية (٢٠١٤م/١٤٣٥هـ) سنجد أنها تشمل الأقسام التالية: الجغرافيا، علم الكمبيوتر، علم الادراك، الهندسة، علم المعلومات، الفلسفة، الرياضيات، العلوم الاجتماعية، الاحصاء. ومن هنا يمكن استخلاص ماهية علم نظم المعلومات الجغرافية في حد ذاته.

ان هذه النظرة الحديثة تتخطي النظرة الضيقة لتطبيق نظم المعلومات الجغرافية كما هي وبإمكانياتها المتاحة (في برنامج كمبيوتر متخصص software) الي ابتكار و تطوير أدوات علمية جديدة وبرمجة وظائف جديدة لتطبيقات محددة. فعلي سبيل المثال فأن معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تستطيع تمثيل قياسات GPS لتحديد مواقع الظاهرات المكانية و توقيعها في قاعدة البيانات، إلا أن مهندس الجيوماتكس يستطيع تطوير برامج جديدة programming لعمل وظائف جديدة - داخل البرنامج الرئيسي - لتنفيذ الحسابات الهندسية و تحليل أرصاد أو قياسات GPS للتأكد من جودتها و دقتها قبل ضمها لقاعدة البيانات المكانية. هنا لم يقم هذا

المستخدم بتطبيق الامكانيات الحالية للبرنامج بل أنه أضاف وظائف جديدة له بناءا علي خبرته العلمية في علم الجيوديسيا. وبذلك فأننا نجد أن كل برنامج GIS يختلف في وظائفه من اصدار الي اخر، حيث هناك من قام بإضافة أيقونات جديدة تمثل أدوات تحليلية جديدة في الاصدار الأحدث. وبمعني اخر فأن اخصائيو نظم المعلومات الجغرافية من جميع التخصصات (الجغرافيا و الهندسة و الرياضيات و الاحصاء و الموارد المائية و علوم البيئة .... الخ) ولديهم خبرة في مجال برمجة الكمبيوتر هم من ينظرون لنظم المعلومات الجغرافية علي أنها ليست مجرد تقنية، حيث أنهم يقدمون حلولا علمية جديدة - كلا في تخصصه - ثم يقومون ببرمجة هذه الخطوات الحسابية أو الطرق العلمية الجديدة ليضعوها في صورة أدوات ووظائف جديدة في البرنامج الأصلي. ولا يجب أن يتخيل أحد أن مبرمجو الكمبيوتر هم فقط من يمثلون هذه الفئة، بل أن الجغرافي أو المهندس المدني - علي سبيل المثال لا الحصر - يستطيعون ابتكار حلول علمية جديدة في تخصصاتهم وبتعلم احدي لغات البرمجة فيكونون هم الأجدر علي تطوير برامج جديدة وإضافتها لبرامج نظم المعلومات الجغرافية، وبذلك يكونوا قد أسهوا في تطوير هذه البرامج، ومن ثم فهم قد تعاملوا مع نظم المعلومات الجغرافية كعلم وقاموا بابتكار اضافات جديدة علي تقنية نظم المعلومات الجغرافية.

ويعتمد علم نظم المعلومات الجغرافية في جوهره علي عدد من التخصصات العلمية أو العلوم الأساسية وأيضا التقنيات والتي تشمل:

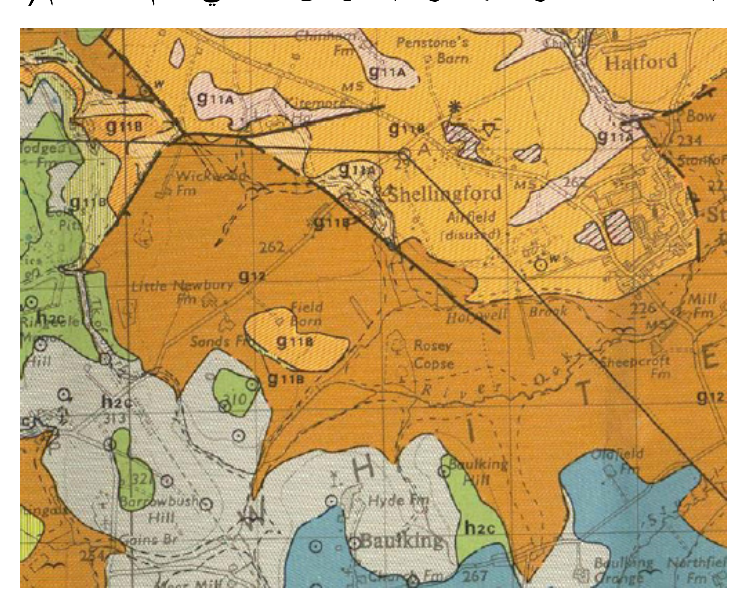
- علم الكمبيوتر Computer Science: ويستخدم في تمثيل و تشغيل (حساب) المعلومات المجمعة من خلال تطوير أجهزة تقنية (عتاد أو hardware) و طرق و نماذج و نظم تقنية (برامج أو software).
- علم الجيوديسيا Geodesy: ويستخدم لتحديد شكل و حجم الأرض والنماذج الرياضية المستخدمة في هذا التمثيل مثل السطوح المرجعية أو الاليبسويد Ellipsoids و نماذج الجيويد Geoid Models وأيضا لتمثيل مجال الجاذبية الأرضية.
- علم المساحة Surveying: وهو الذي يجمع الطرق و الأجهزة و التقنيات المستخدمة في قياس و تمثيل تفاصيل معالم وتضاريس سطح الأرض.
- علم الخرائط Cartography: يقدم علم الكارتوجرافيا قواعد و أسس و طرق تمثيل المعالم الطبيعية و البشرية لسطح الأرض سواء تمثيلا ورقيا (خرائط تقليدية) أو رقميا (خرائط رقمية).

- علم المساحة التصويرية Photogrammetry: يحدد مواقع و أشكال الأهداف الأرضية من خلال القياسات علي الصور الجوية.
- الاستشعار عن بعد Remote Sensing: للحصول علي معلومات مكانية و بيئية دون الاحتكام المباشر مع الأهداف الأرضية (أي من بعد).
- النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System or GPS : للحصول علي الإحداثيات الثلاثية الأبعاد للأهداف الثابتة أو المتحركة لأي مكان علي سطح الأرض وتحت أية ظروف مناخية.
- نظم المسح الليزري Laser Scanning System: لتحديد الأهداف وقياس مسافاتها من خلال استخدام الأشعة في النطاق البصري (من ٠.٣ الى ١٥ مايكرومتر).
- نظم اتخاذ القرار Decision Support System or DSS: لتطبيق نظم معلومات جغرافية معقدة أو مركبة بهدف إيجاد سيناريوهات محتملة لنمذجة الواقع الحقيقي علي الأرض و توفير مجموعة من الحلول لمتخذي القرار.
- النظم الذكية Expert System or ES: تأخذ في الاعتبار أجهزة تستطيع أن تقلد عملية الإدراك لدي الخبراء وقدراتهم علي إدارة الحقائق المركبة وذلك بطريقة حسابية رقمية.
- نظم المعلومات الجغرافية العنكبوتية WebGIS: لتوفير و إتاحة و توزيع البيانات المكانية من خلال حاسبات (كمبيوترات) عن بعد بطريقة الشبكات الحاسوبية.

١-٤ نظرة تاريخية لتطور نظم المعلومات الجغرافية

توجد بعض الاختلافات في التحديد التاريخي الدقيق لتطور نظم المعلومات الجغرافية؛ حيث كانت تجري جهود متماثلة في كلا من أمريكا الشمالية و أوروبا في نفس الفترة الزمنية تقريبا. وربما يعد نظام المعلومات الجغرافي الكندي أول ظهور لنظم المعلومات الجغرافية حيث قامت الحكومة الكندية في عام ١٩٦٣ م (١٣٨٣ هـ) بتحويل خرائط الموارد الأرضية من صورتها الورقية الي صورة رقمية للاستفادة منها في تصنيف الاراضي و استخداماتها المتعددة وإجراء بعض القياسات عليها مثل حساب المساحات. وتقريبا وفي نفس الوقت بدأ مكتب الاحصاء الأمريكي في التفكير بتطوير سجلات رقمية لجميع الشوارع و الطرق بهدف الارجاع الجغرافي الالي لبيانات الاحصاء السكاني الذي كان مقررا في عام ١٩٧٠م. وكانت هذه الفكرة دافعا لقيام جامعة هارفارد في عام ١٩٦٤م بإنشاء معمل الرسم و التحليل بالكمبيوتر بهدف

تطوير نظام معلومات جغرافي عام يخدم عددا من التطبيقات وليس هدفا محددا. أما في انجلترا فقد بدأت وحدة الكارتوجرافيا التجريبية في عام ١٩٦٧م في أول تجربة لإنشاء نظام حاسوبي لتطوير الخرائط بهدف تقليل تكلفة ووقت انشاء الخرائط بصورتها التقليدية، وفي عام ١٩٧٣م تم انتاج أول خريطة جيولوجية رقمية بواسطة هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية. ومنذ ذلك التاريخ بدأت جهات انتاج الخرائط في أمريكا و أوروبا (مثل هيئة المساحة الامريكية و هيئة المساحة العسكرية الامريكية و هيئة المساحة البريطانية والمعهد الوطني الفرنسي للخرائط) الاستفادة من هذه التقنية الجديدة في انتاج الخرائط الرقمية. إلا بريطانيا أصبحت أول دولة تنجح في تطوير قاعدة بيانات كاملة لخرائطها الرقمية، وكان ذلك في عام ١٩٩٥م (١٤١٦هـ).



شكل (١-٤) أول خريطة جيولوجية رقمية

لعبت تقنية الاستشعار Remote Sensing عن بعد دورا هاما في تطوير نظم المعلومات الجغرافية كونها تقنية لجمع البيانات المكانية. تم اطلاق أول قمر صناعي عسكري في الخمسينات من القرن العشرين الميلادي بغرض جمع معلومات مخابراتية، ومع أنه كان يستخدم الكاميرا و الأفلام التقليدية في أعمال التصوير إلا أن تخزين و تحليل هذا الكم الهائل من المعلومات المكانية كان له دور كبير - بصورة سرية - في تطوير نظم المعلومات الجغرافية. ثم تطورت تقنية الاستشعار عن بعد طوال عقد الستينات لتنتقل من التصوير التقليدي الي التصوير الرقمي أو الاستشعار عن بعد الرقمي Digital Remote Sensing، وظهر أول قمر صناعي مدني للاستشعار عن بعد وهو القمر الامريكي لاندسات Landsat في عام ١٩٧٢م (١٣٩٢ هـ). أيضا ساعدت التطبيقات العسكرية والمخابراتية في تطوير نظم الملاحة وتحديد المواقع العالمية بالرصد علي الأقمار الصناعية في فترة السبعينات من القرن العشرين الميلادي، فظهرت تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع Global Positioning System أو

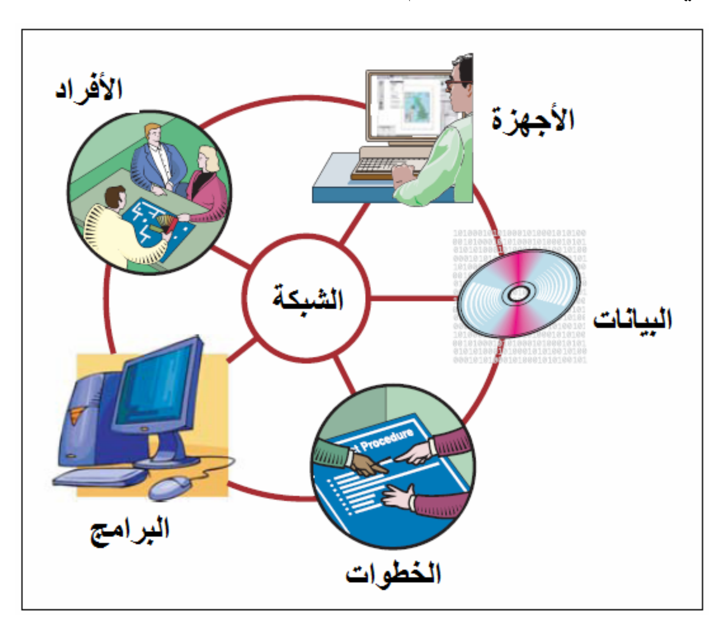
اختصارا جي بي أس GPS، والتي ساعدت علي الوصول لتحديد مواقع الظاهرات المكانية بدقة و سرعة و تكلفة أقل وعلي مستوي عالمي، وهو ما أدي لتطور في الحصول علي البيانات المكانية ومن ثم تطور نظم المعلومات الجغرافية. ومع بداية عقد الثمانينات من القرن العشرين الميلادي حدث تطور هام وهو انخفاض أسعار أجهزة الكمبيوتر Hardware مما أطلق صناعة تطوير البرامج Software وخاصة برامج نظم المعلومات الجغرافية. فلك أن تتخيل أنه قبل هذا الوقت كان ثمن جهاز كمبيوتر (بإمكانيات الكمبيوتر الشخصي الحالي) في حدود ٢٥٠،٠٠٠ دولار أمريكي بينما كانت البرامج المصاحبة له في حدود ١٠٠،٠٠٠ دولار أمريكي! ويقدم الجدول التالي عرضا مبسطا لأهم المحطات التاريخية في تطور نظم المعلومات الجغرافية.

التاريخ	نوع الحدث	الحدث
		مرحلة الابتكار
١٩٦٣	تقني	تطوير نظام المعلومات الجغرافية الكندي
١٩٦٣	عام	انشاء المنظمة الامريكية لنظم المعلومات الحضرية و الاقليمية URISA
١٩٦٤	أكاديمي	انشاء معمل الرسم و التحليل بالكمبيوتر بجامعة هارفارد الأمريكية
١٩٦٧	تقني	مشروع DIME بمكتب الاحصاء الأمريكي لتطوير سجلات رقمية لجميع الشوارع و الطرق بهدف الارجاع الجغرافي الالي لبيانات الاحصاء السكاني
١٩٦٧	أكاديمي	انشاء وحدة الكارتوجرافيا التجريبية ECU في بريطانيا
١٩٦٩	تجاري	انشاء شركتي ايزري ESRI و انترجراف Intergraph لتطوير برامج حاسوبية لنظم المعلومات الجغرافية
١٩٦٩	أكاديمي	نشر أول كتاب يتناول بعض أسس نظم المعلومات الجغرافية Design with Nature للمؤلف Ian McHarg
١٩٧٢	تقني	اطلاق القمر الصناعي الاول للاستشعار عن بعد Landsat
١٩٧٤	أكاديمي	عقد أول مؤتمر علمي AutoCarto 1 في فيرجينيا بأمريكا يتناول نظم المعلومات الجغرافية

مرحلة الإنتاج التجاري		
١٩٨١	تجاري	اطلاق أول نسخة من برنامج Arc Info المتخصص في نظم المعلومات الجغرافية
١٩٨٥	تقني	اكتمال منظومة النظام العالمي لتحديد المواقع GPS
١٩٨٦	تجاري	انشاء شركة MapInfo لبرامج نظم المعلومات الجغرافية
١٩٨٧	أكاديمي	ظهور المجلة الدولية لنظم المعلومات الجغرافية IJGIS
١٩٨٨	أكاديمي	انشاء المركز الوطني الامريكي للمعلومات الجغرافية و التحليل US NCGIA وأيضا معمل البحوث البريطاني الاقليمي UK RRL
١٩٩٢	تقني	اطلاق أول نسخة من الخرائط الرقمية العالمية DCW من تطوير المساحة العسكرية الامريكية (بحجم ١.٧ جيجا بايت)
١٩٩٤	عام	صدور قرار الرئيس الامريكي (كلينتون) بإنشاء البنية التحتية للمعلوماتية المكانية US NSDI واللجنة الاتحادية للمعلومات الجغرافية FGFC
١٩٩٥	عام	اكتمال أول مجموعة خرائط رقمية لدولة كاملة في بريطانيا من تطوير هيئة المساحة البريطانية و تتكون من ٢٣٠ ألف خريطة
١٩٩٦	تقني	ظهور عدد من نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت Internet GIS
مرحلة الانتشار		
١٩٩٤	أكاديمي	تأسيس اتحاد برامج نظم المعلومات الجغرافية مفتوحة المصدر Open GIS لتطوير برامج غير تجارية
١٩٩٧	أكاديمي	اطلاق Map Server 1 اول برنامج نظم معلومات جغرافية مفتوح المصدر open-source علي الانترنت بواسطة جامعة مينيسوتا الأمريكية
١٩٩٩	تجاري	اطلاق أول قمر صناعي تجاري للاستشعار عن بعد IKONOS
٢٠٠٠	تجاري	تجاوز حجم صناعة نظم المعلومات الجغرافية (أجهزة و برامج و خدمات) لقيمة ٧ مليار دولار أمريكي
٢٠٠٣	تقني	إطلاق خرائط جوجل و جوجل ايرث Google Earth, Google Maps

١-٥ مكونات نظم المعلومات الجغرافية

يتكون نظام المعلومات الجغرافي من ستة أقسام رئيسية تشمل الأجهزة Hardware والبرامج Software و البيانات Data و الأفراد People والخطوات Procedures والشبكة Network (شكل ١-٥). وسنحاول هنا تقديم شرحا مختصرا عن كل جزء من هذه الاجزاء ولاحقا - في الفصول القادمة - سيتم التعرض للتفاصيل التقنية لكلا منها.



شكل (١-٥) مكونات نظم المعلومات الجغرافية

<u>الأجهزة:</u> تشمل كل جهاز يستخدمه مشغل نظم المعلومات الجغرافية سواء لإدخال البيانات أو معالجة البيانات أو عرض النتائج. تقليديا كانت أجهزة الكمبيوتر المكتبي desktop هي الاساس، إلا أن المستخدم أصبح لديه الان خيارات متعددة مثل الكمبيوتر المحمول laptop أو اللوح الكفي PDA بل وحتى الاجهزة المركبة داخل السيارات in-vehicle devices.

<u>البرامج:</u> تتعدد برامج نظم المعلومات الجغرافية من برامج مصممة للعمل علي الكمبيوتر الشخصي للمستخدم (وسعرها في حدود مئات الدولارات) وبرامج أكثر تعقيدا تناسب المؤسسات الكبيرة وتكون محملة علي خادم الشبكة الحاسوبية server للمؤسسة (وسعرها في حدود عشرات الالاف من الدولارات). ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تكون برامج تجارية commercial software يتم شراؤها من الشركات المنتجة لها (مثل برامج ArcGIS, MapInfo, AutoCAD Map)، إلا أنه توجد بعض البرامج الاكاديمية التي طورتها جامعات (مثل برنامج IDRISI من جامعة

كلارك). ولكل برنامج امكانيات تقنية تختلف من برنامج الي اخر، كما توجد داخل نفس البرنامج عدة نسخ لكلا منها امكانيات مختلفة.

البيانات: تتكون البيانات من التمثيل الرقمي لأنواع محددة من البيانات في منطقة محددة من سطح الأرض بهدف ايجاد حلول علمية لمشاكل محدده في هذه البقعة المكانية. ويتم بناء قاعدة البيانات database لمشروع نظم المعلومات الجغرافية في أول مرة كما يتم تحديثها update باستمرار لتعبر عن الواقع بصفة مستمرة. وقد تكون قاعدة البيانات صغيرة الحجم (عدة ميجا بايت) يمكن تخزينها بسهولة علي قرص صلب، وقد تكون كبيرة الحجم (تصل الي تيرا بايت) يتم تخزينها علي خادم شبكي server ذو إمكانيات تقنية كبيرة، و الجدول التالي يقدم بعض الأمثلة لقواعد البيانات في عدة تطبيقات.

حجم قاعدة البيانات		مثال للتطبيق
ميجا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	مشروع نظم معلومات جغرافية صغير
جيجا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	قاعدة بيانات لشبكة الطرق في مدينة كبيرة أو دولة صغيرة
تيرا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	ارتفاعات سطح الأرض بقدرة توضيح مكاني ٣٠ متر
بيتا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	مرئيات فضائية للأرض بقدرة توضيح مكاني ١ متر
اكسا بايت	١ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بايت	تمثيل (مستقبلي) ثلاثي الأبعاد لسطح الأرض بقدرة توضيح مكاني ١٠ متر

الأفراد: هم أهم مكونات نظم المعلومات الجغرافية الذين يقومون بتشغيل الاجهزة و البرامج و استخدام البيانات. وتختلف أعمال و مهارات أفراد نظم المعلومات الجغرافية اختلافا كبيرا بناءا علي وظيفة كل فرد، إلا أنهم جميعا لديهم الحد الأدنى من المعلومات عن العمليات الاساسية للتعامل مع البيانات الجغرافية مثل أنواع و مصادر البيانات و دقتها. وفي هذا الاطار فهناك مدخل بيانات، مشغل بيانات، محلل بيانات، مدير قاعدة البيانات، مدير نظام، مبرمج، مدير شبكات .... الخ.

الخطوات: يتطلب نظام المعلومات الجغرافية ادارة أو خطوات تشغيلية قياسية لتنظيم العمل والتأكد من جودة البيانات المستخدمة و مطابقة أسلوب العمل للميزانية المالية المحددة وأيضا المحافظة علي ضبط تنفيذ مراحل تشغيل النظام للوصول للنتائج المنشودة له.

الشبكة: في معظم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية حاليا يتم الاعتماد علي شبكة حاسوبية بهدف نقل و مشاركة البيانات بين مستخدمي النظام. وقد تكون الشبكة من نوع Intranet أي شبكة خاصة لمؤسسة أو جهة معينة، وقد يتم استخدام شبكة الانترنت Internet ذاتها.

١-٦ التعليم و نظم المعلومات الجغرافية

مع نهاية السبعينات من القرن العشرين الميلادي بدأ تقديم مقررات دراسية في بعض الجامعات عن نظم المعلومات الجغرافية. وكانت هذه المقررات تشمل الكارتوجرافيا و الاستشعار عن بعد و خرائط الحاسوب بصفة أساسية. الان توجد آلاف المقررات الدراسية والبرامج الاكاديمية المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية في الجامعات حول العالم.

تجدر الاشارة لوجود فرق جوهري بين التعليم و التدريب في مجال نظم المعلومات الجغرافية. فالدورات التدريبية غالبا يتم تقديمها من جانب الشركات المنتجة للبرامج بهدف التدريب العملي علي برنامج محدد ومعرفة وظائفه و أدواته وكيفية العمل به. لكن التعليم يركز علي تقديم الأسس العلمية للعلوم المتعددة التي تندرج تحت مظلة علم نظم المعلومات الجغرافية مثل علوم المساحة و الجغرافيا و الكارتوجرافيا و الاحصاء و الرياضيات و الكمبيوتر ...الخ. وفي هذا الاطار فيجب أن يشمل التعليم في مجال نظم المعلومات الجغرافية كلا الجانبين النظري و التدريب العملي أيضا.

في عام ١٩٩٤م (١٤١٤ هـ) تم تأسيس اتحاد الجامعات الامريكية لعلم نظم المعلومات الجغرافية UCGIS كمؤسسة عامة - لا تسعي للربح - لتجمع كل الجامعات الامريكية التي تقدم برامج دراسية في علم نظم المعلومات الجغرافية (www.ucgis.org). ومن موقع هذه المؤسسة يمكن ملاحظة أن عشرات من الجامعات الامريكية أصبحت تقدم برامج دراسات عليا في علم نظم المعلومات الجغرافية ومن أمثلتها برامج الماجستير التالية:

Arizona State University - Masters of Advanced Study in Geographic Information Systems (MAS-GIS)
http://geography.asu.edu/mas-gis
Ball State - Master of Science in Geography, GI Processing Emphasis

http://www.bsu.edu/geography/article/0,1384,27311-4327-8945,00.html
Boston University - Master of Arts in Environmental Remote Sensing & GIS
http://www.bu.edu/cees/academics/grad/index.html#maersgis
California State University Northridge - MS with Specialization in GIScience
http://www.csun.edu/geography/grad.html
Chicago State University - MA in Geography
http://www.csu.edu/graduateschool/index.htm
Clark University - MA in Geographic Information Sciences for Development and Environment
http://www.clarku.edu/departments/idce/gis/
College of the North Atlantic, Corner Brook, NL - Certificate in GIS
http://www.cna.nl.ca/programscourses/current_programs/CNA%20GIS%20Applications%20Specialist%20Post%20Diploma.pdf
University of Arizona, School of Geography and Development
http://geog.arizona.edu/graduate/MS_GIST.php
University of Canterbury, Christchurch, New Zealand- Masters (MGIS) and Postgraduate Diploma (PGDipGIS) in Geographic Information Science
http://www.mgis.ac.nz
University of Denver - MS in GIScience
http://www.geography.du.edu/Programs/ProgMS_GISc.html
University of Florida - M.S. Concentration in Applications of Geographic Technologies
http://www.geog.ufl.edu/MS_geogtech.html
Indiana University-Purdue University Indianapolis - MS in GIS
http://www.iupui.edu/~geotech/msgis.html
University of Minnesota - Professional Masters in GIS
http://www.geog.umn.edu/Graduate/MGIS/index.html
University of Maine - MS Spatial Information Science and Engineering
http://www.spatial.maine.edu/
University of Maryland, Baltimore County (Rockville, MD) - M.P.S. in GIS
http://www.umbc.edu/shadygrove/gis/gis.html
University of Maryland at College Park, MD - Master of Professional Studies in Geospatial Information Sciences (MPSGIS) program
http://www.geog.umd.edu/gis
University of Pennsylvania - Master of Urban Spatial Analytics

http://www.sas.upenn.edu/CGS/graduate/musa/
University of Pittsburg - MS in GIS/RS
http://pro-ms.geology.pitt.edu/program.html
University of Redlands - MS in GIS
www.msgis.redlands.edu
St. Cloud State University - MS in Geographic Information Science
http://bulletin.stcloudstate.edu/gb/programs/geog.asp
St. Mary's University of Minnesota - MS in Resource Analysis
http://www.gis.smumn.edu/
Salem State College, Massachusetts - MS in Geo-Information Science
http://www.dgl.salemstate.edu/ms/
University of Texas, Dallas, Master of Science in Geographic Information Sciences
http://www.utdallas.edu/dept/socsci/MS-GIS.htm

أما خارج أمريكا فهناك عشرات الجامعات التي تقدم برامج دراسات عليا في نظم المعلومات الجغرافية ومنها علي سبيل المثال:

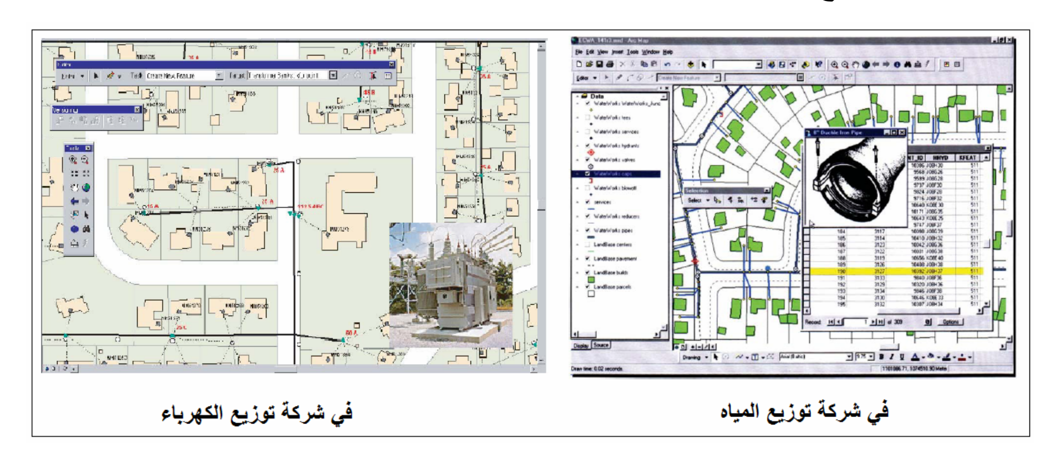
University of Calgary - Masters in GIS Program
http://www.ucalgary.ca/GEOG/index.html
City University, London UK- Masters in Geographic Information
http://www.soi.city.ac.uk/mgi
Curtin University, Australia, MS in Geographic Information Science
http://www.spatial.curtin.edu.au/
University College London - MSC in Geographic Information Science
http://www.gisatucl.info/
University of Edinburgh - MSC in Geographical Information Science
http://www.geo.ed.ac.uk/~gisadmin/gisstudy.html
University of Leeds - MSC in GIS
http://www.geog.leeds.ac.uk/masters/

الفصل الثاني

أمثلة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية

٢-١ مميزات نظم المعلومات الجغرافية؟

صارت نظم المعلومات الجغرافية مطبقة في وقتنا الحالي في عدد كبير من التطبيقات التي تؤثر علي حياتنا اليومية. فعلي سبيل المثال فالطاقة الكهربائية التي تصل منازلنا تعتمد في جزء من مسارها علي استخدام نظم المعلومات الجغرافية في شركة الكهرباء لمتابعة مراحل توليد و توزيع الطاقة، وبنفس الطريقة فأن شركة توزيع المياه أيضا تعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية حتى تستطيع ايصال الماء العذب لمنازلنا.



شكل ٢-١: أمثلة لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية

ويرجع هذا الانتشار الكبير في الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية الذي حدث في العقدين الأخيرين لما لهذا العلم (أو هذه التقنية من وجهة نظر التطبيقين) من مميزات هائلة، منها علي سبيل المثال:

- تستخدم لسرعة اتخاذ القرار علي المدي القريب والبعيد أيضا.
- تتميز بالأهمية التطبيقية العالية.
- يمكن تطبيقها لحل العديد من المشاكل المجتمعية و الاقتصادية و البيئية.
- تدعم القياسات وتطوير الخرائط ومراقبة التغيرات و النمذجة.
- تدعم الجانب التطبيقي لتمثيل البيانات و ادارتها و تحليلها بصورة مبسطة.
- لها مميزات اقتصادية ملموسة.
- يسهل دمجها مع التقنيات الأخرى.

أيضا هناك عدة أسباب ساعدت علي انتشار الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية مثل:

- توافر عدة أنواع من البيانات المكانية علي الانترنت.
- انخفاض أسعار أجهزة و برمجيات نظم المعلومات الجغرافية مع توسع هذا السوق.
- تزايد الاهتمام لدي صناع القرار بأهمية البعد المكاني في التخطيط و الادارة.
- سهولة التعامل مع نظم المعلومات الجغرافية باستخدام كمبيوتر شخصي بسيط.
- سهولة و سرعة الحصول علي البيانات المكانية اعتمادا علي تقنيات الرصد علي الأقمار الصناعية مثل تقنية GPS.

٢-٢ تطبيقات علم نظم المعلومات الجغرافية

تهدف جميع العلوم الانسانية الي وضع حلول للمشاكل التي تواجهنا، وان اختلفت الأسس العلمية والتقنيات المستخدمة باختلاف نوعية و طبيعة المشاكل ذاتها. فإذا أخذنا المعيار المكاني (أو الجغرافي) في الاعتبار فأن أهداف حل أي مشكلة تتمثل في:

- التوزيع الفعال و المنطقي للموارد بناءا علي معايير محددة، مثل توزيع منشئات البنية التحتية في تطبيقات الخدمات.
- مراقبة و فهم التوزيع المكاني للعناصر، مثل التغير في نوعية التربة في بقعة مكانية.
- فهم طبيعة التغيرات التي يحدثها المكان ذاته، مثل أنماط اراء الناخبين.
- فهم العلاقة بين المتغيرات الطبيعية و البشرية، مثل العلاقة بين عمليات تآكل (أو نحر) الشواطئ وعمليات الهجرة البشرية من المدن الساحلية.
- دراسة التأثير البشري و البيئي للقرارات و الاستراتيجيات.

ولتحقيق هذه الأهداف والوصول الي حلول علمية باستخدام علم نظم المعلومات الجغرافية GIS Science فأن هذا يتطلب خمسة عمليات متكاملة وتشمل:

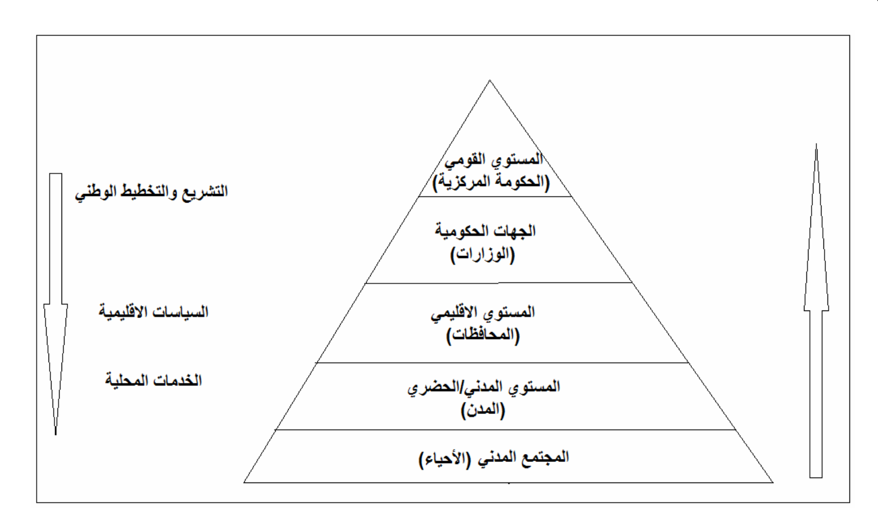
١. تجميع البيانات و القياسات measuring
٢. التمثيل (الخرائطي) للبيانات mapping
٣. تحديث البيانات (متابعة مراقبة الظاهرة) monitoring
٤. تحليل و نمذجة المتغيرات modeling
٥. الادارة المتكاملة ووضع الحلول managing

بصفة عامة يمكن تقسيم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية الي ثلاثة أقسام: تطبيقات تقليدية، تطبيقات نامية، و تطبيقات حديثة. مع ظهور نظم المعلومات الجغرافية فقد شملت تطبيقاتها التقليدية تلك التطبيقات الحكومية و العسكرية و التعليمية وتطبيقات الخدمات بكافة

أنواعها. وفي منتصف التسعينات من القرن العشرين الميلادي بدأت تطبيقات نامية في الظهور، فبدأ استخدام نظم المعلومات الجغرافية في البنوك والخدمات التجارية والخدمات العقارية و شبكات المواصلات و النقل وأيضا تحليل الأسواق. أما في بدايات القرن الحادي و العشرين الميلادي فأن تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية قد توسعت ودخلت مجالات جديدة مثل التطبيقات الأمنية والمخابراتية و مكافحة الإرهاب. واليوم أصبح تطبيق نظم المعلومات الجغرافية و تكاملها مع نظم المعلومات الأخرى أحد أهم أسباب النجاح و التطور في المؤسسات الكبرى. وفي الأجزاء التالية سنتعرض لبعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المجالات الحكومية والتجارية و النقل و البيئة كمجرد أمثلة لتطبيقات هذا العلم.

٢-٢-١ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في الخدمات الحكومية

كانت المؤسسات الحكومية ومجال الخدمات العامة من أولي التطبيقات التي استخدمت واستفادت من نظم المعلومات الجغرافية، فعلي سبيل المثال وكما سبق الذكر في الفصل الأول فأن أول ظهور لنظم المعلومات الجغرافية في كندا، في الستينات من القرن العشرين الميلادي، كان في مؤسسة حكومية. ومنذ تلك البداية وحتى الآن فمازال المستخدمون الحكوميون يمثلون الكتلة الأكبر بين مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. ومع أن أول تطبيق كان علي مستوي وطني أو قومي، فأن التطبيقات الحكومية لنظم المعلومات الجغرافية يتم استخدامها الآن علي كافة المستويات سواء علي مستوي دولة أو مستوي محافظة أو مستوي مدينة أو حتى مستوي حي داخل مدينة. ومع ربط هذه المستويات معا فأن نظم المعلومات الجغرافية تصبح أداه فعالة في عمليات اتخاذ القرار ووضع الخطط التنموية مع الأخذ في الاعتبار كافة المتطلبات المحلية و الوطنية.



شكل ٢-٢: استخدام نظم المعلومات الجغرافية في عدة مستويات لعملية اتخاذ القرار

أصبحت الجهات والمؤسسات الحكومية أكثر وعيا في قضية الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، ومن ثم زاد الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية - علي المستوي الوطني - التي تسمح ببناء قواعد بيانات مكانية للموارد و البنية التحتية وتخطيط شبكات النقل وزيادة جودة الخدمات الحكومية المقدمة وتنمية الأراضي مما ينعكس علي زيادة الدخل من خلال زيادة النشاطات الاقتصادية. بالمثل فأن الجهات الحكومية علي المستوي المحلي صارت تعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية في إدارة و تحديد أنسب مواقع إنشاء الخدمات العامة بحيث تفي الغرض المثالي منها من حيث تغطية كافة احتياجات المواطنين بتوزيع عادل. ومن أمثلة التطبيقات المحلية لنظم المعلومات الجغرافية مراقبة مخاطر الصحة العامة، إدارة خدمات الإسكان العام، مراقبة الجريمة، إدارة شبكات النقل العام، إدارة الخدمات الأمنية وخدمات الطوارئ.

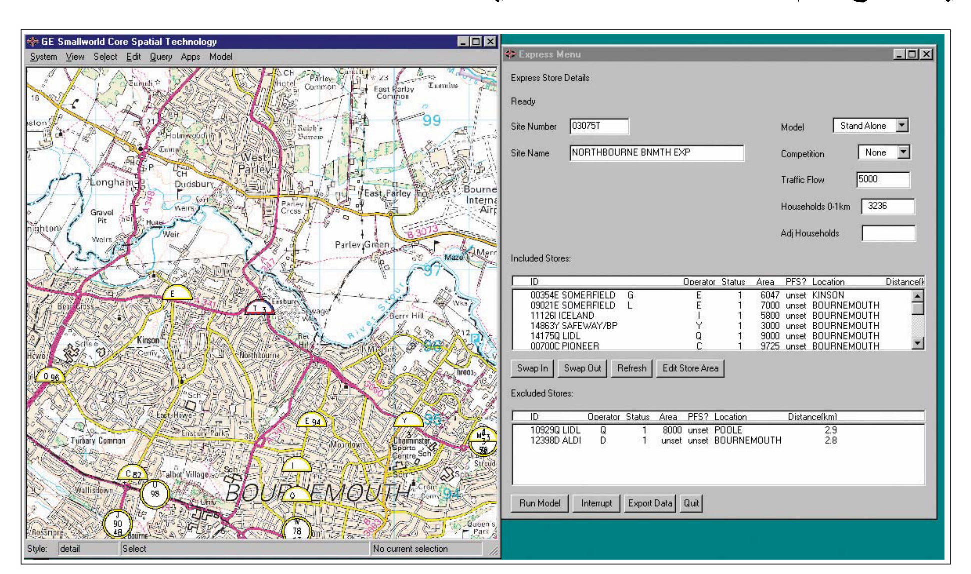
يعد تقدير الضرائب العقارية من الأمثلة التقليدية للتطبيقات الحكومية لنظم المعلومات الجغرافية في العديد من الدول. فهذا المجال يعتمد علي معلومات مكانية في المقام الأول وخاصة في تقدير قيمة الأرض والمباني المقامة عليها بالاعتماد علي أحد ثلاثة طرق وهي قيمة العقار أو الدخل الذي يوفره العقار إذا تم تأجيره أو حالة سوق العقارات في المدينة من حيث العرض و الطلب، وتعد الطريقة الأخيرة هي الأوسع انتشارا لتقدير الضريبة العقارية لمبني معين بناءا علي سعر السوق لمبني مماثل له من حيث الموقع والحجم و الجودة. وهنا يتم الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية في جمع و تخزين و معالجة و تحليل هذه البيانات العقارية للمدينة بهدف تقدير قيمة الضرائب العقارية. أيضا توفر نظم المعلومات الجغرافية إمكانية نمذجة (تطوير نماذج) لهذه العملية التقديرية بناءا علي العوامل المحددة السابق تعريفها.



شكل ٢-٣: مثال لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب العقارية

٢-٢-٢ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية فى الخدمات التجارية

يعد التحليل الجغرافي للسوق أو تحليل منطقة السوق من أهم أعمال تخطيط و إدارة الخدمات التجارية. فهذا التحليل المكاني أو الجغرافي يهدف للإجابة علي سؤال "أين؟"، بمعني ما هي حدود النفوذ المكاني (الانتشار الجغرافي) لخدمة تجارية محددة؟ أو أين يمكن إقامة خدمة تجارية جديدة في منطقة معينة؟ أو أين يمكن تنفيذ خطوط توزيع جديدة للمنتج؟ أو دراسة السلوك الاجتماعي و الاقتصادي للعملاء في بقعة جغرافية محددة. وفي كل هذه العمليات التخطيطية التجارية فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم حلا علميا لا يمكن الاستغناء عته لإجابة مثل هذه الأسئلة المكانية. إن علم نظم المعلومات الجغرافية لا يهدف فقط لتوقيع البيانات علي الخرائط في صورة رقمية، إنما يتعدي ذلك الهدف بكثير فالأهم هو "التحليل المكاني" للبيانات. وبالطبع فأن برامج نظم المعلومات الجغرافية (software) تقدم بعض أدوات التحليل الجغرافي التجاري، إلا أن هناك برامج متخصصة لهذا النوع من التطبيقات والتي يمكن دمجها داخل أي برنامج نظم معلومات جغرافية تجاري.

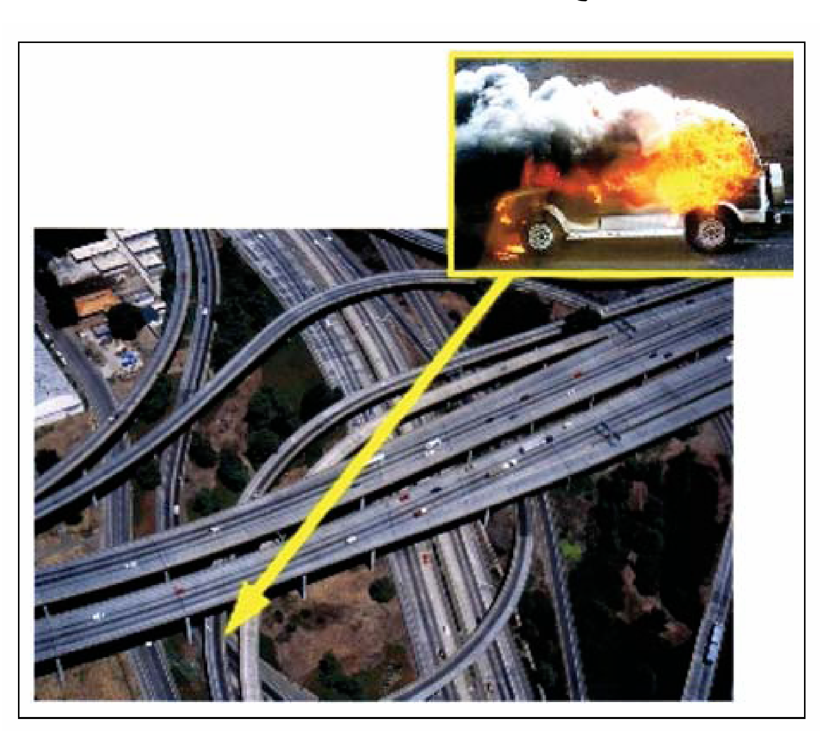


شكل ٢-٤: مثال لاستخدام نظم المعلومات الجغرافية لتحديد موقع إنشاء خدمة تجارية جديدة

٢-٢-٣ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية فى النقل و المواصلات

تتطلب خدمات النقل و المواصلات الاعتماد علي المعلومات المكانية فهي في الأساس تهدف لنقل الناس و البضائع من مكان إلى مكان. ومن أهم مهام المؤسسات الحكومية للنقل و المواصلات تحديد مواقع الخدمات الجديدة (من طرق و سكك حديدية) وأيضا المحافظة علي كفاءة شبكة المواصلات. كما أن الجهات الأهلية أو الخاصة العاملة في مجال النقل تعتمد أيضا في عملها علي تحديد أفضل مسارات النقل لها سواء كان النقل بريا أو بحريا. وكل هذه

التطبيقات تحتاج لنظم المعلومات الجغرافية من خلال جزأين: الجزء الثابت static الذي يتعامل مع البنية التحتية ذاتها، والجزء المتحرك dynamic الذي يتعامل مع حركة الركاب و البضائع. قديما كانت تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية تستخدم فقط في الجزء الثابت من حيث دراسة و تحليل و إدارة الشبكة التحتية للنقل و المواصلات (طرق و سكك حديدية ..الخ). أما حديثا ومع التكامل بيت نظم المعلومات الجغرافية و تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS أصبح مراقبة حركة وسائل النقل و المواصلات ممكنا لحظة بلحظة مما نتج عنه استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة ديناميكية لإدارة الثقل و المواصلات. ومن التطبيقات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية إمكانية تحديد موقع الحدث لحظيا بمجرد الاتصال بمركز الطوارئ (مع توافر إمكانية تحديد موقع الشخص المتصل من خلال هاتفه المحمول أو الجوال المزود بتقنية GPS) وفي نفس اللحظة يمكن لمركز الطوارئ توقيع مكان المتصل علي الخرائط الرقمية وتحديد موقعه بدقة وإبلاغ الموقع للجهة المنوط بها التعامل مع هذا الحدث (الدفاع المدني أو الشرطة أو المرور أو الإسعاف) للتعامل السريع مع الحدث. أيضا فأن الكثير من التطبيقات في مجال النقل و المواصلات تتطلب عملية "الأمثلية optimization" أي تحديد أمثل حل يفي بأهداف محددة. فعلي سبيل المثال يمكن لنظم المعلومات الجغرافية أن تحدد "أمثل" طريق لحافلة معينة مطلوب منها توزيع بعض البضائع لعدة مواقع مختلفة داخل مدينة، مما سينتج عنه توفير الوقت و تقليل تكلفة التوزيع.



شكل ٢-٥: تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع GPS لتحديد موقع حدث لحظيا

يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية في مجال النقل و المواصلات علي عدة مستويات مثل:

مستوي التشغيل:

- مراقبة حركة المركبات بهدف رفع كفاءة التشغيل.
- تحديد المسارات المثلي لتقليل التكلفة.

المستوي التكتيكي:

- تصميم و تقويم مسارات الحركة للخدمات مثل مركبات المدارس و مركبا جمع القمامة و مركبات توزيع البريد.
- مراقبة و تقويم حالة شبكة النقل (مثل حالة رصف الشوارع وحالة خطوط السكك الحديدية) بهدف إدارة أعمال صيانتها.
- التحليل المكاني لمواقع الحوادث.

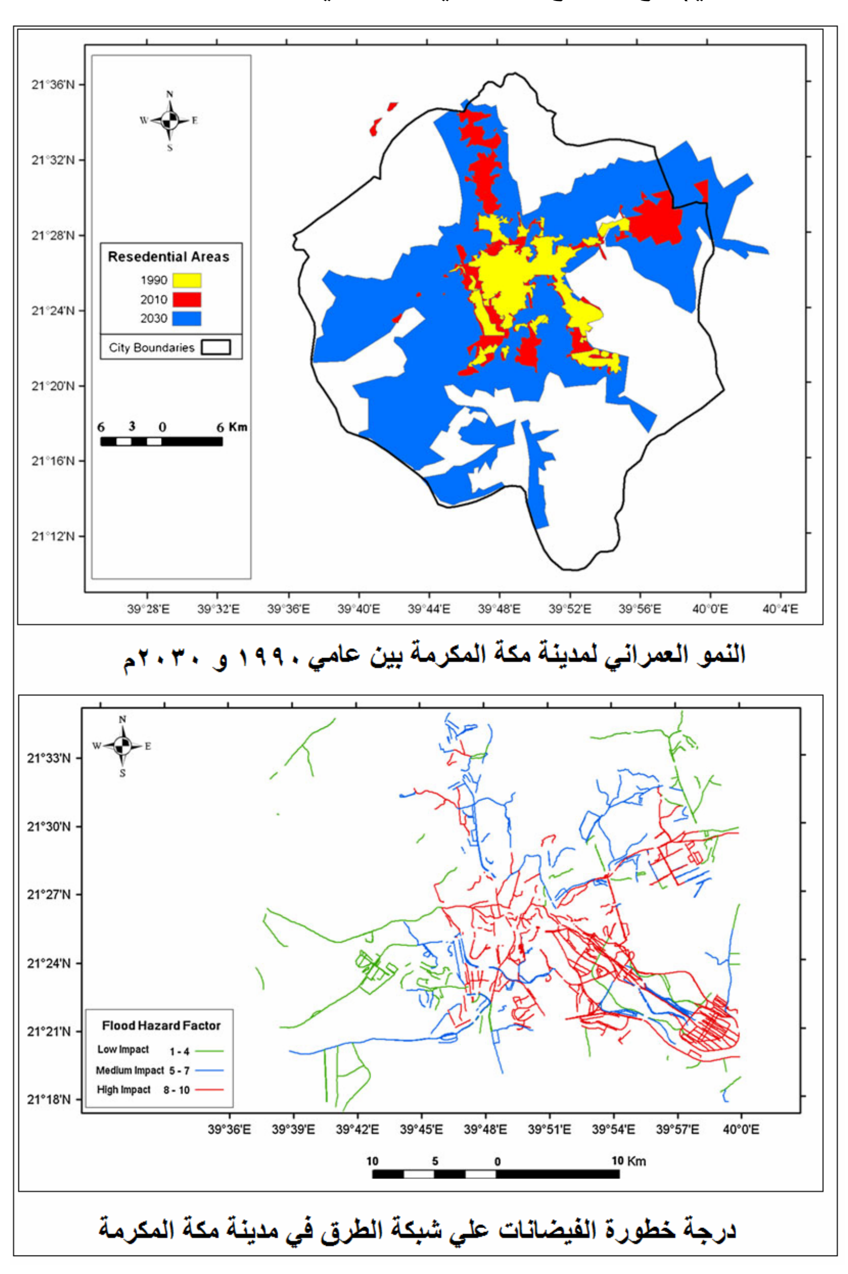
المستوي الاستراتيجي:

- تصميم مواقع إنشاء الطرق الجديدة ومواقع الخدمات المصاحبة لها.

٢-٢-٤ تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال البيئة

تعد التطبيقات البيئية من أولي وأهم أنواع مجالات استخدامات نظم المعلومات الجغرافية منذ ابتكارها، ففي معظم دول العالم فأن الأراضي والموارد الطبيعية محدودة مما يتطلب إدارتها بكفاءة عالية. وهنا تقدم نظم المعلومات الجغرافية أداة تقنية لمراقبة ومتابعة التغيرات في استخدامات الأراضي و متابعة وتحليل و نمذجة النمو العمراني. فعلي سبيل المثال فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم لنا قياسات دقيقة ومتابعة عبر الزمن للتناقص في الغابات الاستوائية في حوض الأمازون بأمريكا الجنوبية من خلال الاعتماد علي صور الأقمار الصناعية. أيضا فأن متابعة النمو العمراني للمدن وآثاره البيئية يعد نموذج آخر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المجالات البيئية. كما تستخدم نظم المعلومات الجغرافية بيئيا لمراقبة و نمذجة عمليات تآكل التربة و التصحر وحركة المياه الجوفية ومراقبة أثار الكوارث الطبيعية مثل السيول و الانزلاقات الأرضية. وفي المجال البيئي أصبح منهج "التحليل المتعدد المعايير Multi-Criteria Analysis" داخل نظم المعلومات الجغرافية من أكثر التطبيقات انتشارا في عدد كبير من التطبيقات علي المستوي العالمي بهدف تطوير نماذج ملائمة suitability model لتحديد أفضل مواقع إنشاء خدمة معينة بحيث يلبي هذا الموقع عددا من المعايير أو

الشروط الواجب توافرها. فعلي سبيل المثال فأن نظم المعلومات الجغرافية تمكننا من تحديد أفضل مواقع إنشاء سدود الحصاد المائي في منطقة معينة بناءا علي عدد من المعايير الهندسية و الجيولوجية و الهيدرولوجية و المناخية و البيئية. أيضا فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم لنا منهجا علميا دقيقا للتوقع المستقبلي لظاهرة معينة بحيث يمكن وضع الخطط المناسبة لمواجهة هذه التحديات المستقبلية. فمثلا يمكن التنبؤ بمخاطر السيول التي من المتوقع حدوثها (من حيث الحجم و الانتشار المكاني) مع التوسع العمراني المستقبلي لمدينة معينة.



شكل ٢-٦: أمثلة للتطبيقات البيئية لنظم المعلومات الجغرافية

الباب الثاني: الأسس

Principles

الفصل الثالث: تمثيل المكان

Representing Geography

الفصل الرابع: طبيعة البيانات الجغرافية

The Nature of Geographic Data

الفصل الخامس: الإرجاع الجغرافي

Georeferencing

الفصل السادس: دقة و جودة تمثيل العالم الحقيقي

Uncertainty

الفصل الثالث

تمثيل المكان

٣-١ مقدمة

يحيا الإنسان علي الأرض في جزء بسيط نسبيا من سطحها، فاليابسة لا تمثل إلا ثلث سطح الكوكب والمساحة التي تحتلها المدن و التجمعات البشرية لا تمثل إلا مقدارا بسيطا جدا من هذه اليابسة. ومع ذلك فأن الحصول علي معلومات عن سطح الأرض يعد بالغ الأهمية في عدد كبير من النشاطات البشرية. عرف الإنسان تمثيل المكان من خلال عدة وسائل مثل: التمثيل داخل المخ البشري من خلال حفظ المعلومات عما يحيط بنا من أماكن يمكننا رؤيتها، والتمثيل بالصور الفوتوغرافية، والتمثيل بالكلام وبالكتابة النصية، والتمثيل بعمل القياسات والأرصاد، و التمثيل الخرائطي.

حديثا أصبح تمثيل المكان من خلال تطوير نموذج رقمي لسطح الأرض، وهذا من أهم أوجه البحث العلمي و التخطيط، فمن خلاله يتعرف الإنسان علي الأماكن ومعالمها وتفاصيلها. لكن العالم الحقيقي بالغ التعقيد وليس من السهل تمثيله، ولذلك فلا بد من اتخاذ قرارات أو اختيارات لما سنقوم بتمثيله أو بمعني آخر المستوي المطلوب لتفاصيل سطح الأرض ولأي فترة زمنية وهذا من أهم مهام أخصائيو نظم المعلومات الجغرافية.

٣-٢ التمثيل الرقمي

صارت التقنيات الرقمية من أساسيات الحياة البشرية الآن، فنحن نتعامل حاليا مع كل وسائل الاتصال بصورة رقمية مثل أجهزة التلفزيون و الراديو و التليفونات و الفاكس والكتب والمطبوعات الالكترونية والانترنت ...الخ. وأصبح اقتناء جهاز كمبيوتر شخصي مطلبا أساسيا من متطلبات الحياة الحديثة. وكلمة "رقمي digital" مشتقة من كلمة "الأرقام digits" وان كان هذا التعبير غير دقيق! فالأرقام العددية أو الحسابية تتكون من عشرة وحدات من الصفر إلي تسعة، بينما في مجال الكمبيوتر فأن التمثيل لا يتم إلا باستخدام وحدتين فقط وهما الصفر و الواحد. فكافة المعلومات يتم تمثيلها "رقميا" من خلال اشتقاقات متعددة من تجميع الصفر و الواحد فقط. ولكل حرف أبجدي أو رقم يوجد كود محدد لاشتقاقات الصفر و الواحد و طريقة جمعهم في "بايت byte" وهي المعلومة المكونة من ٨ وحدات أساسية. فعلي سبيل المثال فأن الرقم ٢ يتم تمثيله رقميا (باستخدام ٨ خانات من الصفر و الواحد) بصورة: ٠٠١١٠٠٠٠ أما الرقم ٥ فيتم تمثيله بصورة: ٠٠١١٠١٠١ وهكذا. وبالطبع فقد تم استنباط عدد من الطرق أو

الصيغ القياسية standard formats لتمثيل المعلومات بصورة رقمية، فمثلا هناك صيغة ASCII لتمثيل النصوص وصيغ مثل GIF, TIFF, JPEG لتمثيل الصور و صيغ مثل MPEG لتمثيل الأفلام وصيغ مثل MP3, MIDI لتمثيل الأصوات. وبالطبع فنحن لا يمكن أن نتعامل مع الصورة الحقيقية للتمثيل الرقمي (مشتقات الصفر و الواحد) ولكن البرامج المتخصصة تعيد "ترجمة" هذا التمثيل الرقمي إلي شكله الحقيقي سواء نص أو صورة أو فيلم.

للتمثيل المكاني (أو الجغرافي) الرقمي مميزات هائلة عند مقارنته بالطرق التقليدية لتمثيل المكان سواء الخرائط الورقية أو التقارير المكتوبة. فالمعلومات الرقمية من السهل نسخها و نقلها بسرعة الضوء وأيضا حفظها في أماكن لا تشكل حيزا كبيرا، كما أنها لا تتعرض للتلف مثل الخرائط الورقية. لكن أهم مميزات التمثيل المكاني الرقمي تكمن في سهولة المعالجة و التحليل، وفي هذا الإطار تقدم لنا نظم المعلومات الجغرافية إمكانات هائلة كان من الصعوبة تحقيقها بالطرق التقليدية، وذلك من خلال إجراء القياسات بدقة وسرعة، و تركيب و دمج عدة نماذج رقمية، وتغيير مقياس الرسم ، و التكبير و التصغير بسهولة و يسر، وكل هذا بتكلفة قليلة.

٣-٣ التمثيل الجغرافي

التمثيل الجغرافي هو تمثيل جزء سطح الأرض بمقاييس متعددة تتراوح ما بين التمثيل المعماري لغرفة و تمثيل كامل الأرض. ويقول الأثريون أن الإنسان عرف رسم المكان علي جدران الكهوف كوسيلة لنقل المعلومات الجغرافية حتى قبل أن تتطور اللغة لتصبح وسيلة ناطقة لنقل المعلومات بين أفراد الجماعة البشرية، ومن هنا ظهرت "الخرائط" بشكل بدائي. ثم صارت الخريطة المرسومة يدويا طريقة فعالة لنقل المعلومات الجغرافية بين مجموعات صغيرة من البشر. إلا أن الخرائط و النصوص المكتوبة قد تتلف أو تدمر إن تعرضت للماء أو النار، وكم فقدت البشرية من معلومات قيمة للغاية بسبب هذين العنصرين مثل ما حدث لحريق مكتبة الإسكندرية القديمة في القرن السابع الميلادي. ومع اختراع الطباعة في القرن الخامس عشر الميلادي أصبحت المطبوعات و الخرائط أوسع انتشارا وأصبح الإنسان أكثر اعتمادا عليها. ومع أن تكلفة طباع الخرائط لم تكن بسيطة في البداية، إلا أن ظهور المكتبات العامة في القرن التاسع عشر الميلادي ساعد علي وصول الخرائط وما تحتويه من معلومات مكانية لقطاع واسع من المهتمين. والآن أصبحت شبكة الانترنت أكثر الطرق فعالية لنقل و نشر المعلومات الجغرافية والمكانية بين الناس في كافة أنحاء العالم.

تعد معظم تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية - في حقيقة الأمر - هي نفسها تطبيقات التمثيل الجغرافي. لكن من المهم جدا في أي تطبيق لنظم المعلومات الجغرافية أن نحدد (١) ما نريد تمثيله what، وأيضا (٢) كيف نريد تمثيله how ، (٣) الدقة المطلوبة لهذا التمثيل accuracy. فالعالم الحقيقي بالغ التعقيد بدرجة تجعل تمثيله رقميا من الممكن أن يتم بعدة طرق، وهناك العديد من الاختيارات أو القرارات لتحديد ما يجب أن يتم تمثيله و ما يمكن ألا يتم تمثيله من الظاهرات.

٣-٤ خصائص التمثيل الجغرافي

إن طبيعة البيانات الجغرافية هي حقائق تدل علي العالم الحقيقي، وغالبا تتكون من ثلاثة عناصر: الموقع و الزمن و الوصف. فالموقع المكاني أو الجغرافي place هو المرجع الذي يدل علي المكان علي سطح الأرض، بينما في بعض الأحيان نحتاج أيضا لتحديد الزمن time الدال علي حدوث الظاهرة قيد التمثيل حيث أن بعض الظاهرات تتغير مع الزمن. أما الوصف attribute فيشمل كافة المعلومات غير المكانية التي تصاحب الظاهرة وتدل علي خصائصها. فعلي سبيل المثال فأن الجملة "تبلغ درجة الحرارة في ظهر يوم ٢ ديسمبر عند دائرة عرض ٣٤ درجة و خط طول ٤٥ درجة تبلغ ١٨ درجة مئوية" تربط بين المكان (دائرة عرض ٣٤ درجة و خط طول ٤٥ درجة) و الزمن (ظهر يوم ٢ ديسمبر) والوصف (درجة الحرارة ١٨ درجة مئوية).

تعد معظم عناصر سطح الأرض ثابتة أو مستقرة لحد ما static، أي أن تغيرها يكون بطئ جدا وفي غالب التطبيقات يمكن إهمال تأثيره. فعلي سبيل المثال فأن تغير منسوب سطح البحر (الناتج عن حركة الأرض وظاهرة المد و الجزر) يكون بطئ جدا وفي فترة زمنية قد تمتد لعشرات السنين، مما يجعل بإمكاننا إهمال هذا التغير البسيط جدا في معظم التطبيقات. بينما علي الجانب الآخر فأن تغير درجات الحرارة يكون بصفة يومية أو ساعية مما يجعل التغيرات الزمنية ضرورية للغاية في تمثيل العناصر المناخية كعناصر ديناميكية متحركة أو متغيرة dynamic ، إلا أن المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة من الممكن تمثيلها كعنصر ثابت.

يتكون نطاق العناصر غير المكانية attributes في المعلومات الجغرافية من أنواع و طبيعة متعددة للغاية، فبعض العناصر تكون طبيعية أو بيئية والبعض الآخر يكون عناصر اجتماعية أو اقتصادية. من الممكن أن تكون العناصر غير المكانية دالة علي موقع محدد يميزه عن المواقع الأخرى، مثل اسم الشارع أو الرمز البريدي أو رقم القطعة. بينما هناك عناصر غير مكانية قد تقيس عنصر محدد في هذا المكان مثل الارتفاع أو درجة الحرارة، كما توجد

عناصر غير مكانية أخري قد تحدد عنصر داخل مجموعات معينة مثل نوع استخدامات الأراضي في هذا الموقع.

تشمل أنواع البيانات غير المكانية عدة أنواع منها: (١) بيانات اسمية nominal وهي التي تحدد العنصر المكاني و تفرق بينه وبين أماكن أخري، مثل رقم المنزل و اسم الشارع أو رقم القطعة ...الخ، (٢) بيانات رتبيه ordinal مثل نوع التربة في مجموعات التربة المحددة، (٣) بيانات فترة interval مثل فترات درجات الحرارة التي تحدد إن كان الطقس حارا أو معتدلا أو باردا، (٤) بيانات نسبية ratio مثل أوزان الأشخاص التي يمكن منها معرفة نسبة وزن شخص مقارنة بوزن شخص آخر. وبالطبع فأننا في نظم المعلومات الجغرافية قد نتعامل مع نوعيات خاصة من البيانات التي يكون لها طبيعة حسابية مختلفة، فعلي سبيل المثال فأن انحرافات الخطوط (مثل تلك المقاسة بالبوصلة المغناطيسية) تتراوح بين الصفر و ٣٥٩ درجة مما يعني أن الرقم التالي لرقم الانحراف ٣٥٩ يكون هو الصفر أو اتجاه الشمال.

يعاني التمثيل الجغرافي للبيانات من مشكلة أساسية تتمثل في أن العالم الحقيقي معقد للغاية مما لا يمكن تمثيل جميع تفاصيله بالكامل. ففي أي مشهد جغرافي كلما نظرنا لمنطقة صغيرة كلما وجدنا كم أكبر من التفاصيل، فعلي سبيل المثال فأن خط الشاطئ علي الخريطة يبدو كخط واحد متعرج، لكنه في الحقيقة يتكون من عدد كبير جدا من التفاصيل و الانحناءات والعناصر المكونة له. وهنا لا بد لنا أن نحدد - قبل بدء عملية التمثيل الجغرافي - المستوي المطلوب من التفاصيل التي نريد التعامل معها، أو إهمال بعض العناصر غير المكانية أو تبسيط simplification الظاهرات المكانية بطريقة معينة. وهذه الاختيارات أو البدائل في عملية التمثيل الجغرافي ليست حديثة، فقد كانت نفس المشاكل تواجه طرق التمثيل الجغرافي التقليدية مثل رسم الخرائط الورقية وما زالت تواجه التمثيل الجغرافي الرقمي في علم نظم المعلومات الجغرافية. وسنلقي الضوء في الأجزاء التالية علي بعض هذه الخيارات.

٣-٤-١ الأهداف المنفصلة والمجالات المتصلة

يري الإنسان العالم الجغرافي من خلال وجهتي نظر مختلفتين وهما الأهداف المنفصلة discrete objects و المجالات المتصلة continuous fields. في مفهوم أو نظرية الأهداف المنفصلة فأن العالم فارغ بصفة عامة فيما عدا مجموعات من الظاهرات التي لها حدود معرفة تماما، بمعني أن العالم محدد بوجود المباني و الطرق و السيارات ومثيلاتها من الأهداف أو الظاهرات المحددة بشكل تام و بحدود ثابتة. ومن أهم ما يميز هذه النظرية أن الأهداف المنفصلة يمكن تمييزها وعدها بسهولة، فمن السهل القول أن هناك ٢٨٤ جبل في

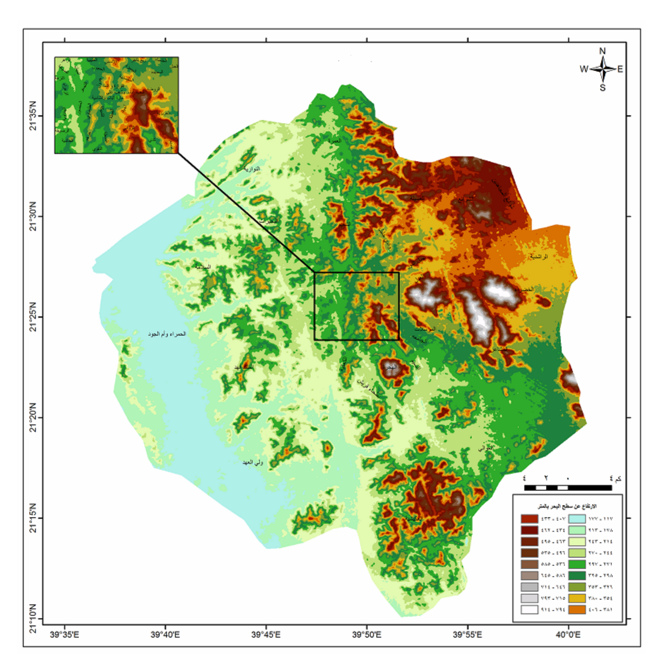
اسكتلندا وأن هناك ١٠ آلاف بحيرة في ولاية مينيسوتا الأمريكية. وهذه النظرية تناسب الأهداف المصنعة، فمن السهل معرفة عدد السيارات المصنعة في عام محدد. كما أن الكائنات الحية تتعامل بسهولة مع هذه النظرية مثل سهولة معرفة عدد سكان مدينة معينة أو عدد الطائرات التي تملكها شركة معينة. لكن علي الجانب الآخر فهناك معوقات كثيرة لهذا الأسلوب أو هذه النظرية، فمثلا ما هو تعريف الجبل وكيف يختلف عن تل؟ وان كان للجبل قمتين فهل يعد جبلا واحدا أم أثنين؟

تمثل الأهداف المنفصلة بعدة وسائل طبقا لنوع الظاهرة الجغرافية ذاتها، فالظاهرات التي تحتل مساحة area (أي لها طول و عرض) تسمي بالظاهرات ثنائية الأبعاد two-dimensional وعادة يتم تمثيلها رقميا بمضلع polygon. أما الظاهرات التي لها بعد واحد فقط (طول) فيطلق عليها اسم الظاهرات أحادية البعد one-dimensional وتمثل بخط line (مثل الطرق والأنهار و السكك الحديدية). بينما هناك ظاهرات يمكن أن نطلق عليها اسم ظاهرات صفرية البعد zero-dimensional ويتم تمثيلها بنقطة point. أما في العالم الحقيقي فأن كل الظاهرات لها ثلاثة أبعاد three-dimensional ومحاولة تمثيلها بعدد أقل من الأبعاد ما هو إلا "تقريب approximation". فالمبني - مثلا - له ٣ أبعاد (طول و عرض و ارتفاع) بينما نحن نمثله علي أنه ثنائي الأبعاد فقط، وفي بعض الأحيان يمكن حل هذه المشكلة من خلال تحديد ارتفاع المنزل (أو عدد أدواره) كمعلومة غير مكانية في قاعدة البيانات.

أما النظرية الثانية في وجهة نظرنا للعالم الحقيقي فهي نظرية المجالات المتصلة، وفيها فأن الظاهرات تتكون من مجالات متصلة حتى و إن كان لها قيم محددة عند كل نقطة. فعلي سبيل المثال فأن تضاريس سطح الأرض يمكن اعتبارها مجالا واحدا متصلا ولكل نقطة في هذا المجال قيمة (ارتفاع) محدد. وفي هذه النظرية فأن المجالات المتصلة تتميز بقيمة التغير و مدي نعومة smooth أو معدل تغير كل مجال، فمثلا تغير التضاريس يكون ناعما أو بسيطا في الأراضي المنبسطة و يكون حادا و متغيرا بسرعة في المناطق الجبلية. ومن الأمثلة الأخرى للمجالات المتصلة الكثافة السكانية و استخدامات الأراضي وأنواع التربة ... الخ. أيضا فأن المجالات المتصلة لا تكون فقط في المساحات إنما قد تكون للخطوط، فمثلا فأن الكثافة المرورية علي طريق تعد مجالا متصلا.

من أهم النقاط التقنية في نظرية الأهداف المتصلة كيفية تحديد عدد فئات المجال نفسه، فكلما كان عدد الفئات كبيرا كلما أعطي ذلك معلومات تفصيلية أكثر عن طبيعة المجال المتصل. في الشكل التالي نري تضاريس سطح الأرض في مدينة مكة المكرمة، وفيه نري قيم

الارتفاعات قد تم تمثيلها من خلال ١٤ فئة مما جعل التمثيل الجغرافي يوضح طبيعة التضاريس بدقة و جودة مما يسمح لنا بالتفرقة بين المناطق المنبسطة و الجبلية وفئات كلا منهما. أما النقطة الثانية فتتمثل في أن نظرية الأهداف المتصلة تسمح لنا وبسهولة من عد الظاهرات المتشابهة، فكيف يمكن تطبيق ذلك في نظرية المجالات المتصلة؟ لحل هذه المشكلة فأننا نتخيل وضع شبكة grid علي الخريطة ويمكننا تحديد قيمة المجال (الارتفاع في مثال التضاريس) عند كل مربع من مربعات هذه الشبكة. أما حجم أو أبعاد كل مربع من مربعات هذه الشبكة (ما يطلق عليه اسم البكسل pixel) فيعتمد علي الدقة المنشود الوصول إليها، فكلما كان البكسل صغير الحجم كلما كانت نتائج التمثيل - و التحليل أيضا - أكثر دقة و تفصيلا.

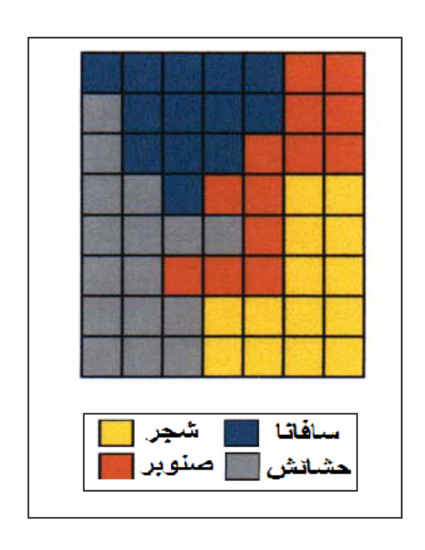


شكل ٣-١: تضاريس مدينة مكة المكرمة: مثال للمجالات المتصلة

٣-٤-٢ البيانات الخطية و البيانات الشبكية

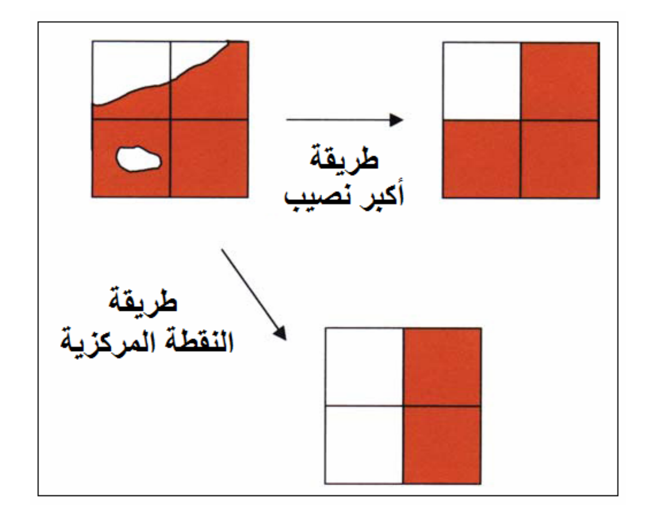
مثلت نظريتي الأهداف المنفصلة و المجالات المتصلة منهجين علميين نظريين لفهم العالم الجغرافي، إلا أنهما لا يقدمان حلولا للتمثيل الجغرافي أو المكاني رقميا. فعلي سبيل المثال فأن مفهوم المجالات المتصلة يحتوي ضمنيا علي كم لا نهائي من البيانات إذا تم تحديد قيمة المجال عند "كل" نقطة. ومن هنا فقد تم ابتكار طريقتين لتمثيل الواقع الجغرافي علي الخريطة الرقمية و هما ما يعرفان باسم طريقة البيانات الخطية vector data وطريقة البيانات الشبكية raster data. وهناك ارتباط قوي للغاية بين نظرية الأهداف المنفصلة و طريقة البيانات الخطية، وكذلك بين نظرية المجالات المتصلة و طريقة البيانات الشبكية.

يعتمد التمثيل الشبكي علي تقسيم المكان - أو العالم - إلي عدد من المربعات أو الخلايا cells بحيث يكون لكل خلية (أو بكسل) قيمة محددة للظاهرة المطلوب تمثيلها أو معلومة غير مكانية attribute. ومن أشهر أنواع البيانات الشبكية تلك البيانات القادمة من تقنية الاستشعار عن بعد remote sensing حيث يقوم القمر الصناعي بتسجيل البيانات بهذا الأسلوب الشبكي. وبالطبع فأن درجة الوضوح المكاني spatial resolution (قيمة طول الخلية أو البكسل المناظر علي سطح الأرض) تختلف من قمر صناعي إلي آخر، فنجد مرئيات فضائية images بوضوح مكاني ٠.٥، ١، ٢.٥، ٥، ١٠، ٣٠ متر.



شكل ٣-٢: مثال للتمثيل الشبكي raster

تجدر الإشارة إلي أنه في طريقة التمثيل الشبكي فأن تفاصيل الظاهرة داخل البكسل الواحد ستختفي، حيث أن كل بكسل أو خليه ستأخذ قيمة ثابتة محددة، بمعني أنه لا يمكن التفرقة بين قيمة المعلومة غير المكانية attribute لأجزاء الخلية ذاتها. وهنا لا بد من إيجاد وسيلة أو طريقة لكيفية تحديد قيمة واحدة للبكسل في حالة أنها تحمل أكثر من قيمة. وفي هذا الإطار فهناك طريقة "أكبر نصيب largest share" حيث تكون قيمة الخلية مساوية لقيمة الجزء الأكبر من مكوناتها. أيضا توجد طريقة "النقطة المركزية central point" وفيها تأخذ الخلية نفس قيمة نقطة مركزها. وتعد طريقة "أكبر نصيب" هي الأوسع انتشارا، إلا أن طريقة "النقطة المركزية" تستخدم في بعض الحالات مثل استنباط خلايا التضاريس من مجموعة بيانات مقاسه للارتفاعات في بقعة معينة.



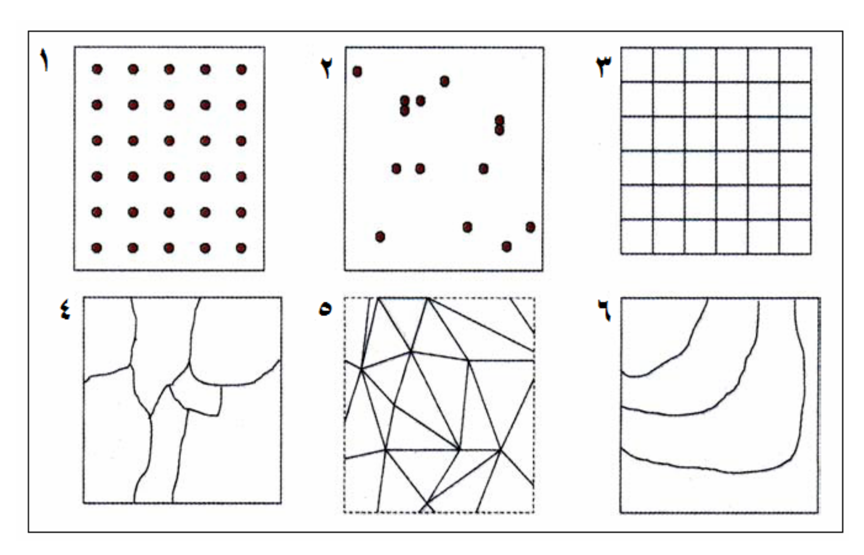
شكل ٣-٣: طرق التمثيل الشبكي

تعتمد طريقة البيانات الخطية أو طريقة التمثيل الاتجاهي vector data علي توقيع النقاط points، بينما الخطوط lines ما هي إلا توصيل مجموعة من النقاط معا، والمضلعات polygons هي توصيل مجموعة من الخطوط (كلما زادت كثافة النقاط أكبر صارت الخطوط أقرب للمنحنيات curves منها للخطوط المستقيمة وصارت المضلعات أكثر دقة في التمثيل). وفي هذا النوع من التمثيل لا نحتاج إلا لمعرفة مواقع النقاط التي تتكون من رؤوس المضلع vertices ومن ثم فأن التمثيل سيكون أسهل وأكثر كفاءة من طريقة البيانات الشبكية. وتظهر هذه الخاصية بصفة أكثر وضوحا عند تمثيل الأهداف المتصلة التي - غالبا - يمكن تحديد مواقعها المكانية بدقة. لكن وعلي الجانب الآخر فأن بعض الظاهرات الجغرافية لا يمكن تحديد حدودها بدقة عالية، مما يجعل التمثيل الشبكي أحيانا يكون مناسبا لعدد من الظاهرات المكانية. وفي هذه الحالات (تمثيل مجال متصل) هناك عدة بدائل أو اختيارات في نظم المعلومات الجغرافية:

١. معرفة قيمة العنصر المتغير عند رؤوس شبكة من المربعات محددة علي فترات ثابتة، مثل معرفة المنسوب (الارتفاع) عند أركان شبكة في حالة نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM).
٢. معرفة قيمة العنصر المتغير عند نقاط متباعدة، مثل معرفة قيمة درجة الحرارة عند محطات القياس المناخية.
٣. معرفة قيمة العنصر المتغير لخلية محددة الشكل، مثل معرفة قيمة الانعكاس في مرئيات الاستشعار عن بعد.
٤. معرفة قيمة العنصر المتغير لخلية متغيرة الشكل، مثل معرفة نوع المزروعات عند كل حوض في مزرعة.

٥. معرفة التغير الخطي للعنصر المتغير عند مثلثات غير منتظمة الشكل Triangulated Irregular Network (TIN).

وتجدر الإشارة إلي أن البديلين ١ و ٣ ما هما إلا طرق تمثيل شبكي، بينما البدائل الأربعة الأخرى تعد من طرق التمثيل الخطي أو الاتجاهي (وان كان يمكن تحويلها إلي تمثيل شبكي في برامج نظم المعلومات الجغرافية).



شكل ٣-٤: طرق تمثيل المجالات المتصلة

والجدول التالي يعرض مقارنة سريعة لكلا طريقتي التمثيل الرقمي الخطي و الشبكي في نظم المعلومات الجغرافية.

جدول ٣-١: مميزات التمثيل الخطي vector و التمثيل الشبكي raster

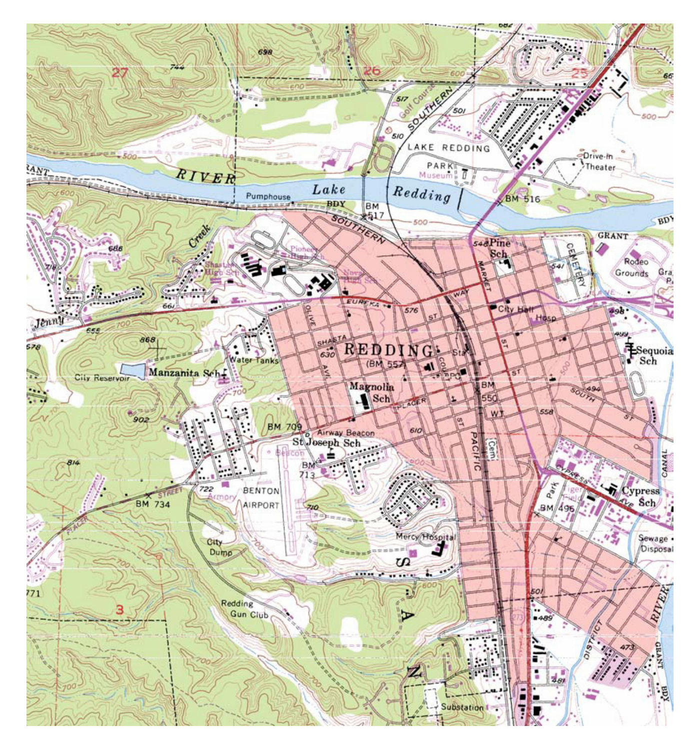
البند	التمثيل الشبكي	التمثيل الخطي
حجم البيانات	يعتمد علي حجم الخلية أو البكسل	يعتمد علي كثافة النقاط
مصدر البيانات	مرئيات الاستشعار عن بعد	بيانات بيئية و اجتماعية و هندسية
التطبيقات	تطبيقات الموارد و البيئية	تطبيقات اجتماعية و اقتصادية و إدارية و هندسية
البرامج software	برامج التحليل الشبكي raster GIS	برامج التحليل الخطي vector GIS و الخرائط الرقمية
الوضوح	ثابت	متغير

٣-٥ الخرائط الورقية

منذ القدم كانت الخريطة الورقية تعد وسيلة جيدة و فعالة لحفظ و لنقل البيانات الجغرافية، وبالطبع فأن الخريطة الورقية هي تمثيلا تناظريا analog وليس رقميا digital للواقع المكاني. وأهم ما يميز الخريطة الورقية هو نسبة التمثيل أو مقياس الرسم الذي من خلاله يمكن من خلاله تمثيل العالم الحقيقي علي قطعة صغيرة من الورق. ومقياس الرسم بصورة مبسطة هو النسبة بين طول أو مسافة علي الخريطة و الطول أو المسافة الحقيقية المناظرة علي سطح الأرض. فالخريطة ذات مقياس الرسم ١ : ٥٠٠٠ تدل علي أن كل المعالم الحقيقية علي الأرض قد تم تصغيرها علي الخريطة إلي جزء من ٥٠٠٠ من حجمها الحقيقي. لكن يجب أن نلاحظ أن هذا التعريف غير دقيق تماما حيث أن مقياس رسم الخريطة يكون ثابتا بينما وحيث أن سطح الأرض مجسما (وليس مسطحا) فأن نسبة التصغير الحقيقية لن تكون ثابتة.

من المهم معرفة ماذا يعني مقياس رسم خريطة رقمية (وليست مطبوعة) فالبعض لا يعي مفهوم أو فكرة أن التمثيل الرقمي ليس له مقياس رسم محدد. فكلمة مقياس رسم الخريطة الرقمية تدل فقط علي مقياس رسم الخريطة الورقية التي تم الاعتماد عليها في إنشاء هذه الخريطة الرقمية. بينما إن كانت الخريطة الرقمية قد تم تطويرها بناءا علي قياسات أو أرصاد (وليس من خريطة ورقية) فأنها هنا لا تعبر عن مقياس رسم محدد، حيث أن برامج نظم المعلومات الجغرافية تستطيع طباعة هذه الخريطة بعدة مقاييس رسم.

توجد علاقة وثيقة وقوية بين محتوي الخريطة الورقية و طريقتي التمثيل الجغرافي الرقمي سواء الخطي أو الشبكي. فعلي سبيل المثال فأن هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية توزع ملفين رقميين من خرائطها الطبوغرافية، ملف منهم خطي vector بينما الآخر شبكي raster وكلاهما يمثلان وسيلتين لجمع محتويات الخريطة الورقية الأصلية. في الملف الشبكي (صيغة DRG) يتم عمل مسح ضوئي scan للخريطة الورقية بكثافة عالية جدا (بكسل صغير جدا) بحيث يكون التمثيل الشبكي قريب جدا لأصل الخريطة. ولكل درجة لون يلتقطها جهاز الماسح الضوئي scanner يتم بناء قاعدة معلومات رقمية توضح أنواع ومسميات الظاهرات الجغرافية الموجودة علي الخريطة الأصلية. أما الملف الثاني (صيغة DLG) يتم رسم كل ظاهرات الخريطة الأصلية سواء بنقاط أو خطوط أو مضلعات. وفي قاعدة البيانات غير المكانية attribute يتم وضع عمود لبيان ما يمثله كل رمز من الرموز المستخدمة في التمثيل.



شكل ٣-٥: نموذج للخرائط الممسوحة ضوئيا

لا يمكن النظر لقاعدة البيانات الرقمية digital database علي أنها مجرد نسخة رقمية من الخريطة المطبوعة و لا علي أنها فقط خريطة رقمية digital map، كما لا يمكن اعتبار نظم المعلومات الجغرافية علي أنها فقط مجمع يحتوي الخرائط الرقمية. فمفهوم التمثيل الجغرافي الرقمي من الممكن ان يحتوي معلومات من الصعب إظهارها علي الخرائط الورقية. فعلي سبيل المثال فالتمثيل الرقمي قد يحتوي علي التغيرات الزمنية للظاهرات المكانية، بينما الخريطة المطبوعة تكون ثابتة static لزمن محدد. أيضا فالتمثيل الجغرافي الرقمي يكون ثلاثي الأبعاد، بينما الخريطة المطبوعة بصفة عامة تكون ثنائية الأبعاد. كما يمكن للتمثيل الرقمي تمثيل سطح الأرض الحقيقي أو المنحني، بينما الخريطة هي مسقط أفقي لسطح الأرض وغالبا ما ينتج عن هذا الإسقاط بعض التشوه distortion.

٣-٦ التعميم

لا يمكننا تمثيل العالم الجغرافي بالغ التعقيد و بكل تفاصيله، ولذلك أبتكر الإنسان عدة وسائل لتبسيط نظرتنا للواقع الجغرافي. فمثلا بدلا من وصف كل نقطة فمن الممكن أن نكتفي بوصف منطقة والعناصر الجغرافية الرئيسية الموجودة بها. كما يمكننا أن نتعرف علي معالم "عينة" من النقاط ونفترض أن هذه العينة تمثل - لحد ما - العالم بأسره. وبناءا علي هذا المنطق فتوجد درجة من درجات التعميم generalization في كل البيانات الجغرافية أو المكانية. لكن الكارتوجرافيون (صانعي الخرائط) يتبنون وجهة نظر أخري، وتتلخص في أن لكل مقياس

رسم من مقاييس الخرائط مواصفات standards محددة تصف كيف يتم إنشاء هذه الخريطة. فالخرائط ذات مقياس الرسم ١ : ٢٥،٠٠٠ لها مواصفات قياسية تختلف عن مواصفات الخرائط ذات مقياس الرسم ١ : ١٠،٠٠٠. أي أن مواصفات الخريطة هي التي تحدد دقة تمثيل المعالم و الظاهرات التي تحتويها هذه الخريطة. فعلي سبيل المثال فأن مواصفات خريطة الغطاء النباتي من مقياس الرسم ١: ١٠،٠٠٠ تنص علي أنه لا يمكن تمثيل نوع من الغطاء النباتي إن كانت مساحته أقل من ١ هكتار. وفي هذه الحالة فسنفقد هذه المعلومات الموجودة علي الأرض والتي لن يمكن تمثيلها علي هذا النوع من الخرائط. ومن ثم فيمكننا القول أن الخريطة ذات مقياس الرسم المحدد تكون دقيقة تماما طبقا لمواصفاتها، حتى و إن كانت لا تمثل تمثيلا دقيقا بصفة عامة لكل تفاصيل سطح الأرض.

يحدد مستوي التفاصيل أحد أهم خصائص قاعدة بيانات نظم المعلومات الجغرافية GIS dataset ، حيث أنه يحدد درجة التقريب بين العالم الحقيقي وقاعدة البيانات. فمن الطبيعي أن نحذف بعض التفاصيل بالنظر إلي حجم البيانات وسرعة المعالجة و حجم التخزين المتاح في أجهزة الكمبيوتر. وهناك عدة طرق للتعميم تشمل:

١. التبسيط simplification: مثل إزالة بعض النقاط الخارجية من مضلع بهدف جعل شكله أبسط.
٢. الأملسة smoothing: بتحويل الشكل المعقد إلي شكل أملس.
٣. التجميع aggregation: بتبديل مجموعة كبيرة من الأهداف أو الرموز بمجموعة أصغر عددا.
٤. الاندماج amalgamation: بتبديل مجموعة من الأهداف بهدف واحد فقط.
٥. الدمج merging: بإحلال مجموعة من الخطوط بعدد أقل من الخطوط.
٦. التفتيت collapse: بإحلال مضلع ببعض الخطوط و النقاط بدلا منه.
٧. التنقية refinement: بإحلال نمط معقد من الأهداف بنمط آخر أبسط مازال يحافظ علي الوضع العام للنمط الأصلي.
٨. المبالغة exaggeration: بتضخيم هدف معين للمحافظة علي خصائصه في حالة أن الهدف لن يظهر بوضعه الأصلي.
٩. التحسين enhancement: بتغيير الحجم أو الشكل الأصلي للرموز.
١٠. الإزاحة displacement: بتحريك الأهداف من مواقعها الحقيقية للحفاظ علي تميزها و سهولة التعرف عليها.

وهذه الطرق من طرق التعميم يمكن التعرف علي خصائصها بسهولة مبسطة من الشكل التالي.

	الوضع الأصلي	الوضع المعمم		الوضع الأصلي	الوضع المعمم
simplification التبسيط			smoothing الأملسة		
collapse التفتيت			aggregation التجميع		
amalgamation الاندماج			exaggeration المبالغة		
merging الدمج			displacement الإزاحة		
refinement التنقية			enhancement التحسين		

شكل ٣-٦: طرق التعميم

الفصل الرابع
طبيعة البيانات الجغرافية

٤-١ مقدمة

يعد فهم طبيعة البيانات الجغرافية أو المكانية من أهم مبادئ عمل نظم المعلومات الجغرافية لتمثيل هذه البيانات بحيث تكون معبرة عن العالم الحقيقي. إن هناك ٧ خصائص لطبيعة البيانات الجغرافية (تناولنا منهم ٣ في الفصل السابق) وتشمل:

١. تبني نظم المعلومات الجغرافية تمثيلا لأماكن أو مواقع فريدة unique غير متماثلة،
٢. طبيعة التمثيل ذاته تكون اختيارية أو انتقائية selective وليست كاملة تماما،
٣. في بناء التمثيل نري العالم إما أهدافا منفصلة أو مجالات متصلة.

أما الخصائص الثلاثة الأخرى (سنتناولهم بالتفصيل في هذا الفصل) فتشمل:

٤. فهم تأثير التقارب proximity يعد مفتاحا رئيسيا لفهم التغيرات المكانية وبالتالي تمثيلها رقميا،
٥. يعتمد التمثيل الجغرافي الرقمي علي المقياس و مستوي التفاصيل المطلوب،
٦. القياسات التي نجريها في الواقع تكون مترابطة أو معتمدة علي بعضها co-vary ومن المهم فهم طبيعة هذا الترابط.

وهناك خاصية سابعة سنتناولها بالشرح في فصل منفصل قادم وهي:

٧. حيث أن كل تمثيل - تقريبا - يكون غير كامل incomplete فأنه بالطبع سيكون غير دقيق un-certain تماما.

٤-٢ الارتباط المكاني

عند تحليل سلسلة زمنية time series من البيانات فان الارتباط autocorrelation بين مفردات هذه المجموعة من البيانات يكون ارتباطا أحادي البعد one-dimensional، فالتغير بين قيم البيانات يكون معتمدا فقط علي الزمن. فمثلا أسعار قطع الأراضي في مدينة ما ستتغير فقط من وقت إلي آخر (صعودا أو حتى هبوطا). ومن ثم فأن تحليل مجموعة البيانات هذه يكون مباشرا أو صريحا straightforward حيث أن التغيرات ذاتها تكون زمنية بطبيعتها. لكن البيانات الجغرافية قد تختلف زمنيا، إنما تختلف في الأساس اختلافا مكانيا، وبالتالي فأن الارتباط بينها يكون ارتباطا مكانيا spatial autocorrelation في الغالب ثنائي الأبعاد two dimensional (وقد يكون أيضا ثلاثي الأبعاد three

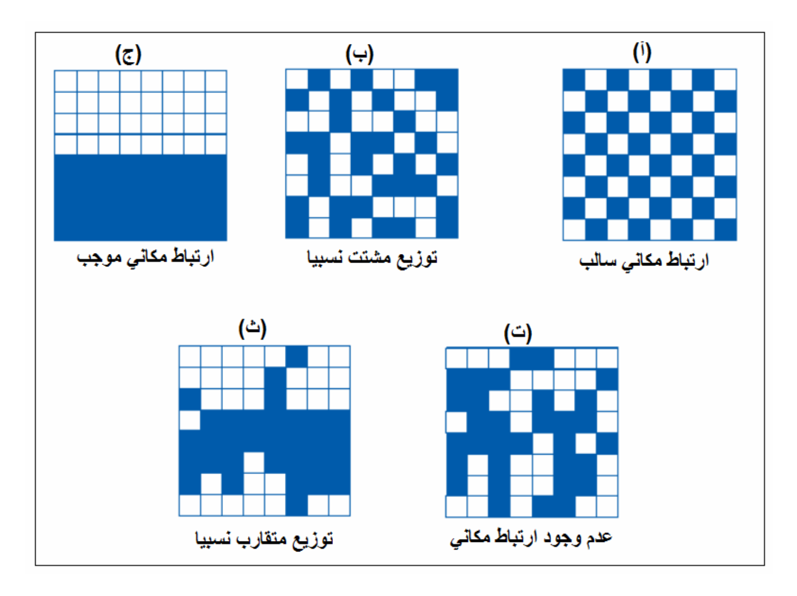
dimensional). فمن السهولة معرفة الفروق المكانية بين منطقة حوض الأمازون و منطقة دلتا نهر النيل، وذلك بناءا علي معرفة الموقع المكاني (خطوط الطول و دوائر العرض) لكلاهما علي سطح الأرض وبالتالي معرفة تأثيرات البيئية في كل موقع. وبصفة عامة فأن التغيرات المكانية أو الجغرافية قد تكون بسيطة و ملحوظة كما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال الخدمات العامة، وقد تكون معقدة وتستغرق فترة زمنية طويلة كما في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في دراسة التصحر والتغيرات المناخية.

من أهداف التمثيل الجغرافي الرقمي أن يمدنا بقدرة تحليلية علي التنبؤ بالتغيرات المستقبلية أيضا. وبالتالي فنجن نحتاج لمعرفة كيف يمكن لعنصرين أن يترابطا مكانيا أو كيف يكون تأثير كلا منهما علي الآخر. فعلي سبيل المثال فأن المخططين يهتمون بمعرفة كيف سيؤثر إنشاء طريق عام أو خط مترو جديد داخل مدينة علي أسعار الأراضي بها. ومن هنا فأن دراسة أنماط التوزيع المكاني لعنصر أو ظاهرة مكانية سيؤثر علي عنصر مكاني آخر بناءا علي مدي الارتباط والتأثير المكاني لكلاهما.

إن بناء تمثيلا جيدا للواقع الجغرافي أو المكاني في نظم المعلومات الجغرافية يعتمد علي معرفتنا بطبيعة التغيرات المكانية، وطبيعة الارتباط المكاني بين العناصر و الظاهرات الجغرافية. فهذه العناصر هي التي تحدد لنا مستوي التفاصيل المنشود لنظام معلومات جغرافي معين، وتحدد أيضا كيفية اختيار العينات samples، وكيفية عمل التعميم generalization من هذه العينة المقاسة.

يقيس الارتباط المكاني درجة التماثل بين كلا من البيانات المكانية (المواقع) والبيانات غير المكانية attributes بين مجموعة من الأهداف. فان كان هناك تماثل بين المواقع و العناصر غير المكانية فيكون هناك نموذج لارتباط مكاني موجب positive spatial autocorrelation بين هذه الأهداف. أما في حالة وجود التماثل بين المواقع فقط (أهداف قريبة من بعضها مكانيا) ووجود اختلاف بين العناصر غير المكانية للأهداف فهذا نموذج الارتباط المكاني السلبي negative spatial autocorrelation. أما الارتباط المكاني الصفري zero spatial autocorrelation فيحدث عندما تكون العناصر غير المكانية لا تعتمد علي الموقع. ونري في الشكل التالي عدة نماذج أو أنماط للارتباط المكاني لشكل مكون من ٦٤ أو بكسل خليه حيث كل خليه قد تأخذ أحد احتمالين فقط (أبيض أو أزرق في الشكل). ففي الشكل (أ) نري حالة الارتباط المكاني السلبي بين الخلايا المتجاورة، بينما الشكل (ج) يوضح حالة الارتباط المكاني الموجب حيث نري كلا نوعي الخلايا ظاهرين بتماثل و تناغم منتظم. والأشكال الثلاثة الأخرى توضح أنماطا متوسطة من الارتباط المكاني ما بين الارتباط

الموجب و الارتباط السالب، فالشكل (ت) يوضح عدم وجود ارتباط مكاني أو بمعني آخر وجود استقلال مكاني spatial independence بينما الشكل (ب) يمثل حالة التوزيع المشتت dispersed نسبيا والشكل (ث) يوضح حالة التوزيع المتقارب clustered نسبيا.



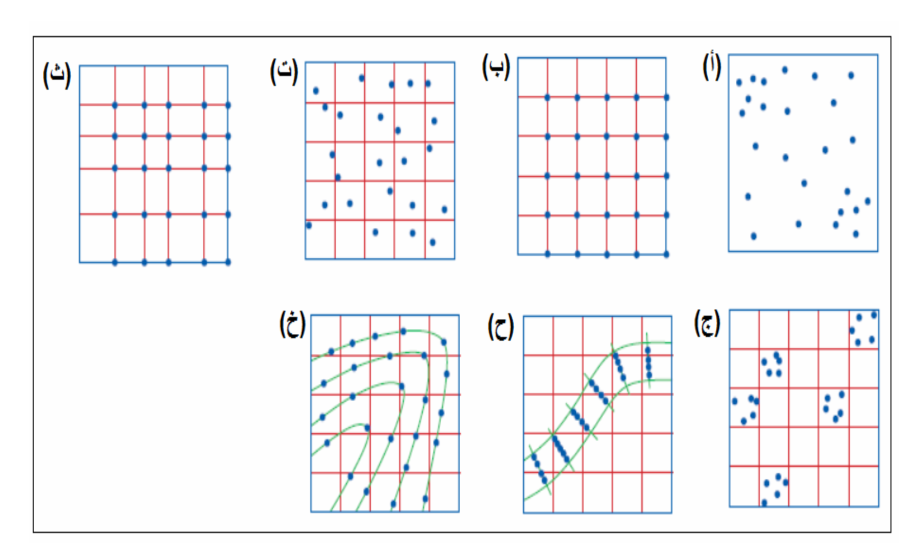
شكل ٤-١: أنماط الارتباط المكاني

٤-٣ اختيار العينة المكانية

من الصعب تمثيل العالم الحقيقية بكافة تفاصيله و مفرداته، ولذلك فنحن نقوم باختصار أو تلخيص الواقع من خلال "عينة sample" مختارة يمكنها أن تمثل طبيعة البيانات الجغرافية. ويمكن أن يكون إطار العينة محددا بعنصر واحد تسعي لدراسته أو محددا بحدود منطقة مكانية. فيمكننا أن نري عملية اختيار العينة sampling كأنها عملية اختيار مجموعة من النقاط من مجال متصل، أو عملية اختيار بعض الأهداف وإهمال البعض الآخر. بل أن عملية التمثيل الجغرافي برمتها ما هي إلا عملية اختيار للعينات بأسلوب علمي لكي يمكن تمثيل العالم الحقيقي. وإذا نظرنا بتمعن إلي عملية الاستشعار عن بعد فهي في حقيقتها عملية اختيار عينة، فكل خليه في المرئية الفضائية تحمل قيم الانعكاس "المتوسط" للأهداف الموجودة بالفعل داخل الخلية أو البكسل.

يؤكد علم الإحصاء (وخاصة التقليدي) علي أهمية مبدأ "العشوائية randomness" في تصميم أساليب أخذ العينات، ويمثل الشكل ٤-٢ (أ) الاختيار العشوائي للعينات. لكن هذا المبدأ قد لا يكون فعالا وقد يعطي اختيارا مركزا للعينات في منطقة دون منطقة أخري، وخاصة في حالة كون حجم العينة قليل مقارنة بحجم المجتمع التي تؤخذ منه هذه العينة. وهنا فأن أسلوب العينة المنتظمة systematic (الشكل ٤-٢ ب) قد يحل هذه المشكلة باختيار نقطة عينة كل

فترة مكانية interval محددة. إلا أن هذا الأسلوب أيضا قد يواجه مشكلة في بعض الحالات، فكمثال في حالة أخذ عينة كل ١ كيلومتر في مدينة بغرض دراسة دخل السكان، فمن الممكن أن يكون معظم المنازل المختارة من فئة محدودي الدخل مما يجعل العينة غير معبرة عن الحالة الاقتصادية لكل سكان المدينة. وهذا يجعلنا نلجأ لطرق أخري تجمع بين كلا أسلوبي العشوائية و الانتظام، ففي الشكل ٤-٢ ت يمكن اختيار نقطة العينة عشوائيا داخل كل خليه من خلايا، بينما في الشكل ٤-٢ ث يمكن تغيير حجم الخلية أو البكسل ثم إتباع الطريقة المنتظمة. وأحيانا نلجأ لحصر قياساتنا الميدانية بطريقة معينة (شكل ٤-٢ ج) خاصة في حالة كون المنطقة المكانية كبيرة مما يجعل التكلفة الاقتصادية لجمع العينات عالية. فمثلا يمكن جمع عينات عن الآراء السياسية و الانتخابية للسكان عند مراكز التسوق بدلا من مسح كامل المدينة. وتصلح هذه الطرق من طرق اختيار العينات في حالة عدم معرفتنا بالتركيب المكاني spatial structure للظاهرة المراد تمثيلها، أو في حالة أن الظاهرة تمتد في جميع الاتجاهات الجغرافية. إلا أن بعض الحالات و بعض الظاهرات المكانية يكون لها تركيب مكاني معلوم مسبقا، وبالتالي فنحن في حاجة لابتكار طرق أخذ العينات طبقا لتطبيقات محددة. فعلي سبيل المثال يمكن أخذ العينات علي مسار محدد profile لتمثيل تغير التربة في هذا الاتجاه المحدد سلفا (شكل ٤-٢ ح)، أو أخذ العينات علي خطوط الكنتور (شكل ٤-٢ خ).



شكل ٤-٢: طرق اختيار العينة

وتجدر الإشارة إلي أن حجم العينة قد يكون كبيرا في حالة أن الظاهرة المكانية قيد الدراسة تكون موزعة بصورة غير متجانسة مكانيا علي منطقة جغرافية كبيرة. وفي مثل هذه الحالات من الأفضل أن يتم تقسيم هذه المنطقة إلي مناطق أصغر، واختيار أسلوب مناسب لأخذ العينة في كل منطقة بناءا علي معلوماتنا المسبقة عن الظاهرة وتغيراتها المكانية. بمعني أن فترة

العينة interval قد تتغير من جزء إلي آخر من منطقة الدراسة. ونخلص بذلك إلي أن اختيار العينة من أهم خصائص بناء نظام جغرافي فعال لدراسة ظاهرة (أو ظاهرات) مكانية معينة لكي يكون النظام معبرا بكفاءة عن العالم الحقيقي. أيضا يجب الأخذ في الاعتبار عدة عوامل أخري عند اختيار العينات ومنها علي سبيل المثال توافر المواد اللازمة لأخذ العينة (والقياسات إن وجدت) وأيضا تكلفة أخذ العينة و سهولة الوصول إلي كافة أرجاء منطقة الدراسة.

٤-٤ تأثير الُبعد أو مسافة التأثير

يعتمد التمثيل الاختياري (من خلال العينة) علي معرفة تأثير الظاهرة قيد الدراسة ما بين كل نقطتين من نقاط أخذ العينة ذاتها، وهذا أحد خصائص البيانات الجغرافية. وهنا فنحن بحاجة لعملية استنباط interpolation وأيضا عملية وزن weight للقياسات المتجاورة. تعتمد نظرية المجالات المتصلة علي أن المجال يتغير بصورة بسيطة كلما تحركنا من نقطة لأخرى. فعلي سبيل المثال فأن تأثير التلوث الكيمائي سيقل أو ينخفض بصورة مطردة كلما بعدنا عن مصدر التلوث ذاته، وأيضا سينخفض التلوث الضوضائي الصادر من الطائرات بصورة خطية كلما ابتعدنا عن مدرج المطار.

إن طبيعة البيانات الجغرافية تختلف من نوع إلي آخر، وبالتالي فهناك عدة طرق لتقدير تأثير الُبعد أو المسافة التي يضمحل عندها التأثير distance decay لكل ظاهرة جغرافية أو في كل تطبيق من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. ويقدم الشكل ٤-٣ عدة أنواع افتراضية في صور رياضية، حيث الرمز b يمثل العنصر الذي يؤثر علي معدل تغير وزن w (أو أهمية) للظاهرة. فكلما زادت قيمة b دل ذلك علي أن التأثير أو التغير يكون سريعا، والعكس صحيح. وفي معظم التطبيقات فأن اختيار معادلة التأثير يعتمد علي الخبرة المسبقة للظاهرة قيد الدراسة. وتعد معادلة مسافة الخط المستقيم linear distance (شكل ٤-٣ أ) أبسط الصور الرياضية لتقدير مسافة اضمحلال التأثير كالتالي:

$$w = a - b\,d \qquad (4\text{-}1)$$

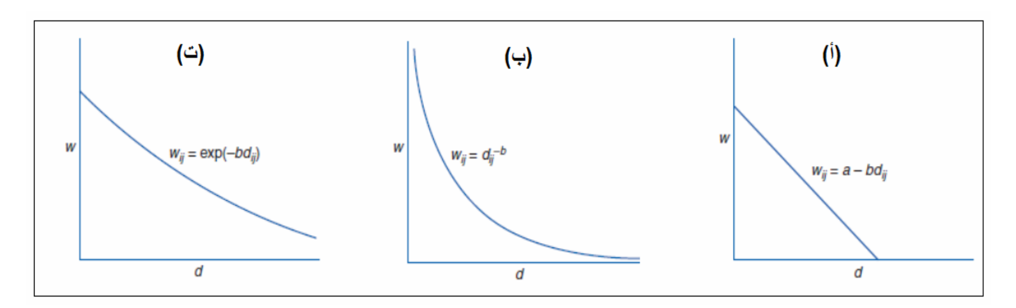
وتستخدم هذه المعادلة مثلا في تقدير مسافة اضمحلال (أو تلاشي) تأثير الضوضاء الصادرة من مدرج طائرات في مطار معين.

أما معادلة مسافة الأس السالب negative power distance (شكل ٤-٣ ب) فقد تم استخدامها في تقدير تغير الكثافة السكانية اعتمادا علي المسافة من مناطق الإحصاء ذاتها، وتأخذ الصورة الرياضية:

$$w = d^{-b} \qquad (4\text{-}2)$$

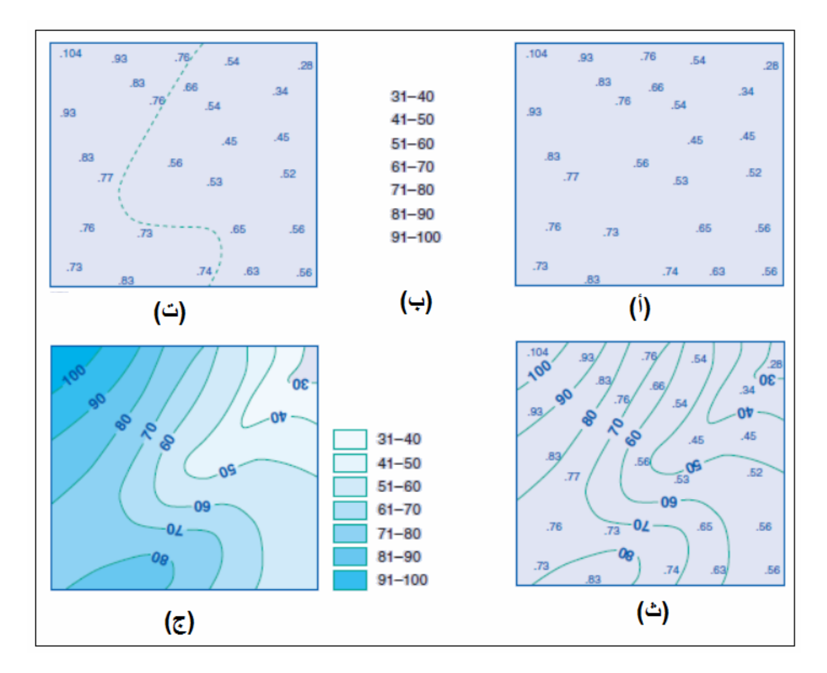
كما استخدمت معادلة مسافة التوافق الأسى السالب negative exponential statistical fit (شكل ٤-٣ ت) في دراسات الجغرافيا البشرية خاصة في حساب تأثير تفضيل مركز تجاري بناءا علي مسافة العد منه، وتأخذ الصورة الرياضية:

$$w = e^{-b\,d} \qquad (4\text{-}3)$$



شكل ٤-٣: بعض طرق حساب مسافة التأثير

هذه الطرق (أو المعادلات) لتقدير مسافة اضمحلال التأثير طرق مثالية تفترض أن تأثير الظاهرة يتغير بانتظام في جميع الاتجاهات، وهذا قد يكون صحيحا في كثير من التطبيقات. فمثلا يعتمد الكارتوجرافيون علي هذا المبدأ في استنباط خرائط خطوط التساوي سواء الخطية isoline أو المساحية isopleths. فكما يوضح شكل ٤-٤ (بصورة مبسطة) فأن خطوات إنشاء خرائط التساوي تبدأ بتوقيع أماكن نقاط العينة مع تحديد العنصر غير المكاني attribute عند كل نقطة (أ) ثم تحديد فترات الاستنباط المطلوبة (ب) ثم استنباط قيم العناصر غير المكانية للفئات المحددة (ت)، ثم توقيع حدود كل فئة علي الخريطة (ث)، وأخيرا استخدام الألوان لبيان النمط العام للتغير الحادث (ج). لكن وعلي الجانب الآخر فهناك عدة تطبيقات لا يكون فيها تغير الظاهرة منتظما، حيث يوجد تغير مفاجئ abrupt في مواقع محددة. فعلي سبيل المثال فأن التضاريس و الجيولوجيا تتغير بصورة مفاجئة (وليست منتظمة) عند الجرف و الصدع علي التوالي. وكمثال آخر فأن مبيعات متجر معين لا تعتمد فقط علي المسافة من موقع المتجر، إنما علي عدد آخر من العوامل مثل شبكة المواصلات والطرق لهذا الموقع، وأيضا العوامل الاقتصادية-الاجتماعية لرواد المتجر، والعروض الشرائية المقدمة من هذا المتجر مقارنة بالمتاجر القريبة الأخرى.

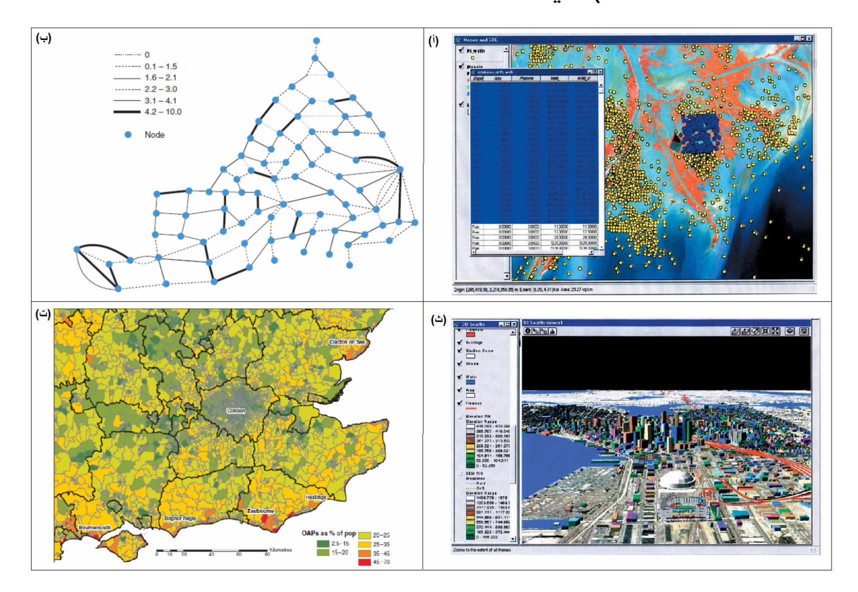


شكل ٤-٤: خطوات إنشاء خرائط خطوط التساوي

٤-٥ قياس تأثير المسافة كارتباط مكاني

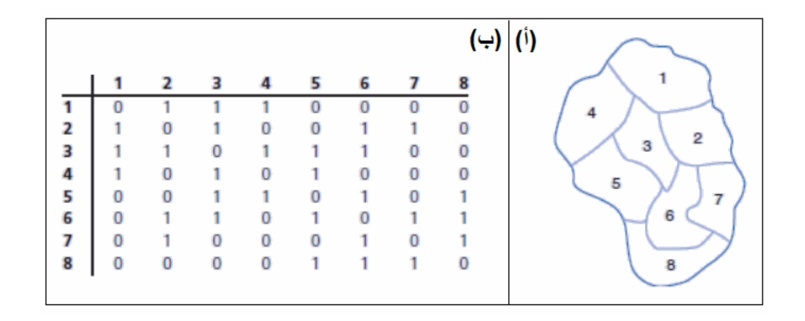
إن فهم طبيعة البيانات الجغرافية يساعدنا في اختيار طريقة جيدة لاختيار العينات واستنباط القيم بين نقاطها المقاسة بهدف بناء تمثيل جيد للعالم الحقيقي. لكن في الكثير من التطبيقات لا يكون لدينا فهم جيد للتغيرات المكانية و طبيعتها و الارتباط المكاني بينها البعض، ولذلك فأن تحليل الارتباط المكاني يعد هاما للغاية كأحد التحليلات المكانية للبيانات الجغرافية. وكما سبق الذكر فأن طرق قياس الارتباط المكاني تعتمد علي نوعية الظاهرة ذاتها إن كانت أهدافا منفصلة أو مجالات متصلة. ففي حالة كون الظاهرة مجالا متصلا فان الارتباط المكاني يقيس مدي نعومتها بناءا علي قيم نقاط العينة، بينما في حالة الظاهرات ذات الأهداف المنفصلة فأن الارتباط المكاني يقيس تتوزع قيم البيانات غير المكانية attribute في الأهداف بالتمييز بين حالات التركز و التباعد و العشوائية. والشكل ٤-٥ يوضح هذه الحالات الأربعة، ففي الشكل (أ) نري أهداف من نوع النقاط تمثل آبار المياه (بيانات نقطية point data) في منطقة مساحتها ٣٠ كيلومتر مربع، مع معرفة قيم عمق المياه الجوفية عند كل نقطة، ومن الشكل نستخلص وجود ارتباط مكاني قوي. أما الشكل (ب) فيمثل عدد حوادث المرور علي الطرق (بيانات خطية line data) في جنوب مدينة أونتاريو الكندية. ويدل الارتباط المكاني الضعيف علي وجود عوامل محلية (مثل سوء حالة الطرق عند التقاطعات) هي التي تؤثر علي هذه الإحصاءات. أما الشكل (ت) فيمثل نمط الحالة الاقتصادية-الاجتماعية (بيانات مساحية area data) في جنوب شرق انجلترا ويجيب علي السؤال إن كان هناك عاملا مشتركا -علي

المستوي الإقليمي- في التركيب الأسري. بينما يمثل الشكل (ث) فيمثل ارتفاعات المباني (بيانات حجميه volume data) في قلب مدينة سياتل الأمريكية.



شكل ٤-٥: أمثلة لتطبيقات دراسة الارتباط المكاني

مع أن طرق قياس أو حساب الارتباط المكاني سيتم تناولها بالتفصيل في فصل قادم، إلا أننا سنحاول أن نلقي الضوء وبصورة مبسطة علي كيفية حساب التماثل بين المناطق المتجاورة. لنأخذ مثالا لعدد من المساحات المتجاورة كما في الشكل ٤-٦ (أ). هنا نبدأ بتكوين مصفوفة matrix سنطلق عليها اسم مصفوفة الوزن w حيث سيقيس كل عنصر فيها "تماثل الموقع" بين كل نطاق. وتكون قيمة العنصر في مصفوفة الوزن w_{ij} (حيث i يشير للصف و j يشير للعمود) اما القيمة ١ في حالة التجاور أو القيمة صفر في حالة عدم التجاور. فمثلا النطاق ١ (في الشكل أ) متجاور مع كلا من النطاقات ٢، ٣، ٤ ومن ثم فأن قيمة عناصر مصفوفة الوزن عند الصف الأول (المقابل للنطاق ١) ستكون ١ عند الأعمدة ٢، ٣، ٤ بينما ستكون صفر عند باقي الأعمدة (الشكل ب).



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	1	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	1	0
3	1	1	0	1	1	1	0	0
4	1	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	1	1	0	1	0	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1
7	0	1	0	0	0	1	0	1
8	0	0	0	0	1	1	1	0

شكل ٤-٦: مثال لموزايك من النطاقات

وبهذه الطريقة المبسطة فأن مصفوفة الوزن ستمثل مدي التماثل في الموقع (التجاور) بين نطاقات منطقة ممثلة كهدف متصل. وفي الخطوة التالية سنقوم - وبنفس الطريقة - بتكوين مصفوفة ثانية تمثل مدي التشابه بين العناصر غير المكانية attribute لهذه النطاقات أو المساحات، ولنسميها c_{ij}. وبضرب كلا المصفوفتين (أي بضرب كل صف من المصفوفة الأولي في العمود المقابل له في المصفوفة الثانية وجمع قيم حاصل الضرب معا) ينتج لنا معيار للارتباط المكاني:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} w_{ij} \qquad (4\text{-}1)$$

وهناك عدة طرق رياضية أكثر تفصيلا لحساب و قياس الارتباط المكاني مثل معامل موران Moran Index علي سبيل المثال.

٤-٦ التبعية بين الظاهرات المكانية

يعطينا الارتباط المكاني فكرة جيدة عن العلاقة الداخلية بين مفردات ظاهرة واحدة في الفراغ، لكن هناك عنصر آخر مهم أيضا من خصائص البيانات الجغرافية ألا وهو التبعية dependence أو الاعتماد بين عدة ظاهرات في نفس الموقع المكاني.

في علم الإحصاء فأن تخليل الانحدار regression يقيس مدي اعتماد عنصر (ولنسميه العنصر التابع dependent) علي عنصر آخر (ولنسميه العنصر المستقل independent).وكمثال فأن سعر قطعة أرض في مدينة تعتمد عي عدد من العوامل مثل مساحة الأرض وبعدها عن الخدمات مثل المدارس و مجمعات التسوق و محطات المواصلات ...الخ. وبصورة رياضية فأن:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots\ldots X_k) \qquad (4\text{-}2)$$

حيث: Y هو العنصر التابع، والعناصر $X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots\ldots X_k$ (من ١ إلي k) هي العناصر المستقلة، بينما f تمثل الدالة الرياضية التي تربط بينهم. لكن هناك نقطتين هامتين يجب أخذهما في الاعتبار هنا وهما : (١) أننا قد لا نستطيع معرفة جميع العناصر المستقلة التي قد تؤثر علي العنصر التابع نفسه، (٢) أن قياساتنا لن تكون دقيقة بالكامل. ولذلك فغالبا ما نضيف عنصر جديد الي المعادلة السابقة لتصبح:

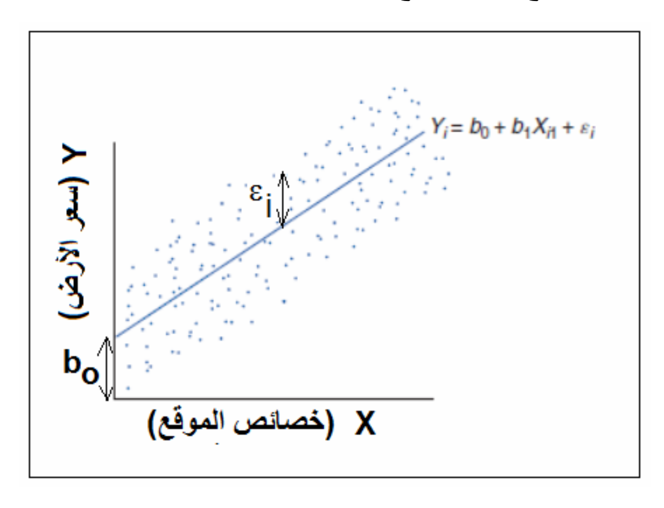
$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots\ldots X_k) + \varepsilon \qquad (4\text{-}3)$$

حيث ε يمثل الخطأ.

فإذا اعتبرنا حالة الخط المستقيم كدالة تمثل العلاقة بين العنصر التابع و العناصر المستقلة:

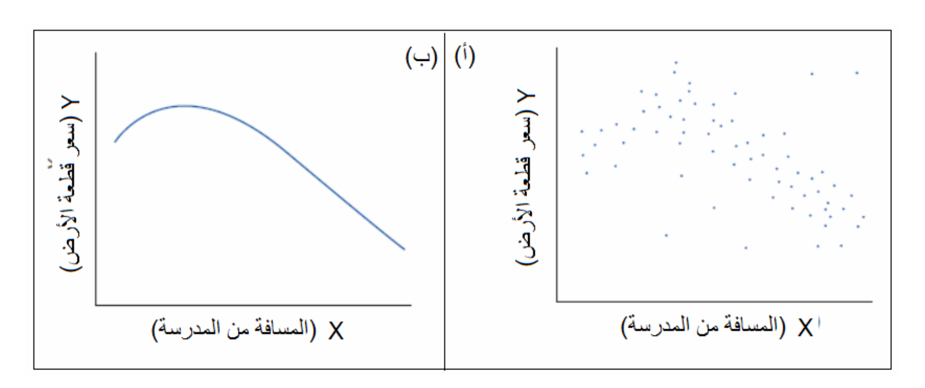
$$Y = b_o + b_1 X_1 + b_2 X_2, + b_3 X_3, \dots\dots\dots + b_k X_k + \varepsilon \qquad (4-4)$$

ويكون هدف تحليل الانحدار هو حساب قيم المتغيرات $b_1, b_2, b_3, \dots\dots\dots b_k$ وهي التي نسميها عناصر الانحدار regression parameters ، حيث b_o يسمي العنصر الثابت أو العنصر القاطع intercept (الشكل ٤-٧). وفي هذا المثال فأن الاتجاه العام الصاعد يدل علي أنه كلما زادت خصائص الموقع كلما أرتفع سعر قطعة الأرض.



شكل ٤-٧: الانحدار الخطي

في بعض الحالات إذا حاولنا دراسة تأثير عنصر واحد فقط من العناصر المستقلة (وليكن مثلا المسافة من المدرسة في المثال الحالي) علي العنصر التابع (سعر قطعة الأرض) فقد نجد العلاقة بينهما ضعيفة وليست علاقة الخط المستقيم التصاعدي كما في الحالة السابقة. فبالنظر للشكل ٤-٨ (أ) نجد النقاط التي تمثل القياسات تأخذ شكلا مبعثرا وليس متقاربا، وهنا لا يمكننا تحديد العلاقة المباشرة بين العنصر التابع و العنصر المستقل. وتجدر الإشارة لوجود عدد من الاختبارات (أو المعاملات) الإحصائية التي تقدم لنا حكما علي جودة وكفاءة معادلة الانحدار التي نحصل عليها (مثل المعامل المسمي R^2). أيضا هناك بعض الحالات أو الظاهرات التي ترتبط فيما بينهم بنوع آخر من الدوال الرياضية (*f* في المعادلة ٤-٢) بخلاف معادلة الخط المستقيم. ففي الشكل ٤-٨ (ب) نري أن العلاقة بين سعر قطعة الأرض والبعد عن المدرسة ليست خطا مستقيما صاعدا، إنما هي علاقة غير مستقيمة وهابطة. بمعني أن كلما زادت المسافة من المدرسة كلما أنخفض سعر قطعة الأرض.



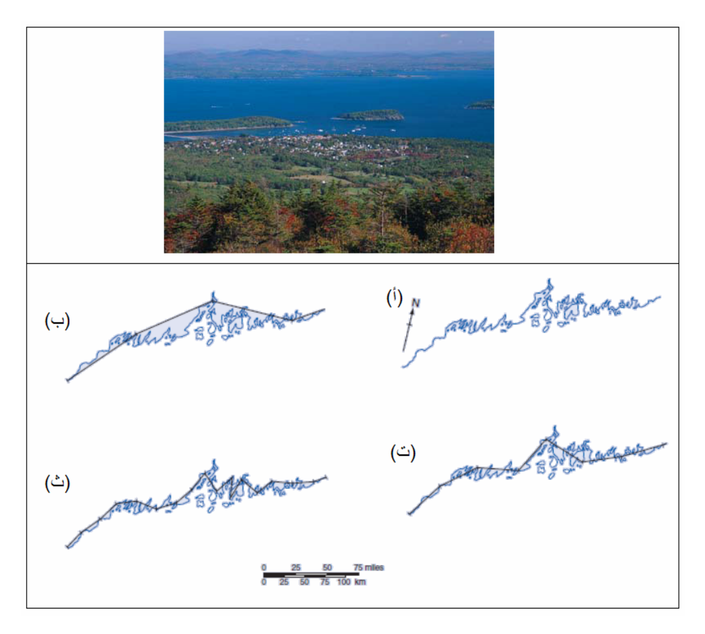
شكل ٤-٨: الانحدار غير الخطي

٤-٧ التغيرات الفجائية في البيانات الجغرافية

توجد الكثير من الظاهرات التي لا تكون مجالا متصلا بصورة ملساء smooth بل يوجد بها التغيرات المفاجئة الحادة. فعلي سبيل المثال فأن تضاريس منطقة جبلية تتغير بصورة حادة مما يجعل من غير المناسب أن نعتمد علي الاستنباط أو الانحدار لتمثيل العلاقة بين قيعان الأودية و قمم الجبال في هذه المناطق. أيضا قد نجد في المدن تغيرات مفاجئة في نمط العمران في جزء من المدينة (ناطحات سحاب و أبراج عالية) مما يجعل تمثيل الكثافة السكانية للمدينة يقفز بشدة في بعض المواقع الجغرافية. وفي مثل هذه الحالات فأن الطرق الرياضية التقليدية (شكل ٤-٣) لن تكون مناسبة لتعميم هذه الظاهرات.

سنتعرض لمثال بسيط يوضح هذه المشكلة في التمثيل الجغرافي، فالشكل ٤-٩ (أ) يمثل تعرجات خط الشاطئ في جزء من مدينة ماين الفرنسية، والسؤال الآن هو كم يبلغ طول هذا الشاطئ؟ لنبدأ في الشكل (ب) بقياس المسافة بفترة تبلغ ١٠٠ كيلومتر، وسنجد أن عدد القياسات (أو الأرصاد) تبلغ ٣.٤ فترة، مما يجعل طول الشاطئ يبلغ ٣٤٠ كيلومتر. الآن سنغير فترة قياس المسافة لتصبح ٥٠ كيلومتر (الشكل ت)، وسنجد أن عدد القياسات سيكون تقريبا ٧.١ مما يجعل طول الشاطئ يساوي ٣٥٥ كيلومتر. أما إذا جعلنا فترة القياس كل ٢٥ كيلومتر (الشكل ث) فأن عدد القياسات سيكون تقريبا ١٦.٦ وبالتالي سيكون طول الشاطئ ٤١٥ كيلومتر. وهكذا كلما قللنا فترة القياس حصلنا علي تفاصيل أكثر و من ثم نتج لدينا طول جديد للشاطئ. ومهما قمنا بتقليل فترة القياس لن تتفق النتائج مع بعضها البعض، حتى وان بلغت فترة القياس السنتيمتر الواحد! فنتيجة القياس هنا ستعتمد علي مستوي التفاصيل المنشود. وهنا نقول أن التعقيد في خط الشاطئ وتعرجاته الشديدة لا يمكن تمثيله بدقة بخط مستقيم (أحادي البعد) وأيضا - وفي نفس الوقت - لا يمكن تمثيله بمساحة (ثنائية الأبعاد). بل يمكننا القول أن هذه الظاهرة لها "بعد كسري fractional dimension" ما بين ١ (الخط) و ٢ (المساحة). وهذه النظرية

المسماة "الهندسة الكسرية fractional geometry" تم ابتكارها علي يد الجغرافي لويس ريتشارد سون Lewis Richardson في الأربعينات من القرن العشرين الميلادي، كطريقة جديدة لتلخيص و تمثيل مثل هذه الظاهرات الجغرافية. وسنتعرض لاحقا لتطبيق هذه النظرية في قياسات أطوال الخطوط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.



شكل ٤-٩: مثال لتغير التمثيل بتغير مستوي التفاصيل

في نهاية هذا الفصل يجب التأكيد علي أن أحد أهداف نظم المعلومات الجغرافية يتمثل في إنشاء علاقة بين البيانات الجغرافية والنظريات العلمية سواء الجغرافية أو الرياضية أو الإحصائية بهدف الوصول إلي تمثيل جيد للواقع الحقيقي. أي أن نظم المعلومات الجغرافية تعتمد علي "الاستقراء induction" أو التفكير في القياسات والأرصاد جنبا إلي جنب مع "الاستنباط deduction" أو التفكير في النظريات و المبادئ العلمية، ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر لتطوير التمثيل الجغرافي الجيد.

الفصل الخامس

الإرجاع الجغرافي

٥-١ مقدمة

ما يميز المعلومات الجغرافية عن باقي أنواع المعلومات هو "الموقع" الجغرافي أو المكاني، فكل معلومة تتعلق بمكان محدد علي سطح الأرض ومن ثم فأن طرق تحديد المواقع من أساسيات إنشاء نظم المعلومات الجغرافية. وقد سبق القول أن المعلومات الجغرافية تتكون من ثلاثة أقسام: بيانات مكانية أي الموقع location ، بيانات غير مكانية attribute، و(أحيانا) الزمن.

عندما نتحدث عن المعلومات الجغرافية فأننا نستخدم عدة تعبيرات أو مصطلحات للدلالة عن تحديد الموقع، مثل الإرجاع الجغرافي geo-reference أو تحديد المكان الجغرافي geo-locate أو الترميز الجغرافي geo-code، إلا أن تعبير الإرجاع الجغرافي geo-reference (أو georeference) هو الأوسع انتشارا. تحتاج أي طريقة للإرجاع الجغرافي إلي أن يكون هذا الإرجاع فريدا unique بحيث أن الموقع الواحد لا يعبر إلا عن مكان واحد محدد، وأيضا يجب أن يكون هذا الإرجاع قابلا للانتشار shared بسهولة بين الناس. فمثلا عندما نقول "٩٠٩ شارع الجامعة بمدينة لوس أنجلوس بولاية كاليفورنيا في أمريكا" فهذه الجملة تشير إلي موقع محدد تماما و لا يمكن أمن يكون هناك موقع مكاني آخر له نفس العنوان أو المرجع الجغرافي. أيضا يجب أن يكون الإرجاع الجغرافي "ثابت مع الزمن persistent through time"، فمن غير المعقول أن يتغير المرجع الجغرافي من وقت إلي آخر مما سيتطلب تحديث كافة البيانات الجغرافية باستمرار، وتلك عملية مكلفة بالطبع.

مع أن بعض طرق الإرجاع الجغرافي (تحديد الموقع المكاني) تعتمد فقط علي النصوص (مثل العنوان البريدي)، إلا أنه من الأفضل الاعتماد علي طرق الإرجاع الجغرافي التي تعتمد علي القياسات والتي يطلق عليها اسم "الإرجاع الجغرافي القياسي metric georeference"، مثل خطوط الطول longitude و دوائر العرض latitude. ومثل هذه الطرق تتميز بالدقة في تحديد الموقع (كلما زادت دقة نظام القياس المستخدم ذاته) مما يزيد من دقة التمثيل الجغرافي الرقمي للظاهرات المكانية. أما الميزة الثانية لطرق الإرجاع الجغرافي القياسي فهي أننا يمكن حساب المسافة (والانحراف وعدة معلومات أخري) بين موقعين بمعرفة موقعيهما بالضبط. والجدول التالي يعرض بعض طرق الإرجاع الجغرافي ومواصفات كل طريقة منهم.

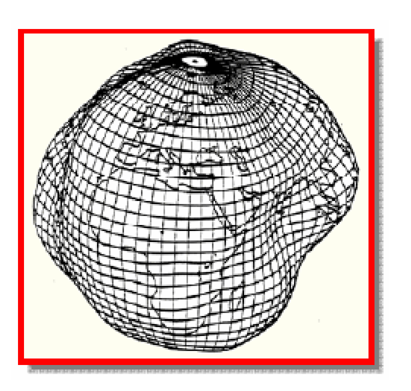
أمثلة لطرق الإرجاع الجغرافي

الطريقة	مدي التفرد uniqueness	هل نظام قياسي؟	مثال	قدرة التوضيح المكاني resolution
العنوان	متغير	لا	مدينة لندن	متغيرة بناءا علي حدود المنطقة
العنوان البريدي	عالمي	لا	٩١٢ شارع الجامعة بمدينة لوس أنجلوس	يعتمد علي حدود ما يمثله العنوان الواحد
الرمز البريدي	لكل دولة	لا	٢٢٩١٥	يعتمد علي حدود المنطقة التي يمثلها الرمز الواحد
الرمز التليفوني للمنطقة	لكل دولة	لا	٠١٢ (المنطقة الغربية في المملكة العربية السعودية)	متغير من دولة لأخرى
نظام ترقيم الأراضي	محلي	لا	القطعة ١٢ بالحوض رقم ٣٦ بمدينة الجيزة	يعبر عن قطعة من الأرض متغيرة المساحة
خطوط الطول و دوائر العرض	عالمي	نعم	٢١ درجة و ٤٥ دقيقة شرقا و ٣٩ درجة و ١٤ دقيقة شمالا	دقيق
نظام ميريكاتور المستعرض العالمي	كل شريحة تمثل تمتد منطقة ٦ خطوط طول و ٤ درجات عرض	نعم	٥٦٣١٤٥ شرقا و ٢٣٤٣٤٥٦ شمالا	دقيق

وسنتعرض بالشرح هنا لطريقتي خطوط الطول ودوائر العرض و طريقة ميريكاتور المستعرض العالمي فقط لأهميتهما و انتشار استخدامهما في نظم المعلومات الجغرافية.

٥-٢ الشكل الحقيقي للأرض

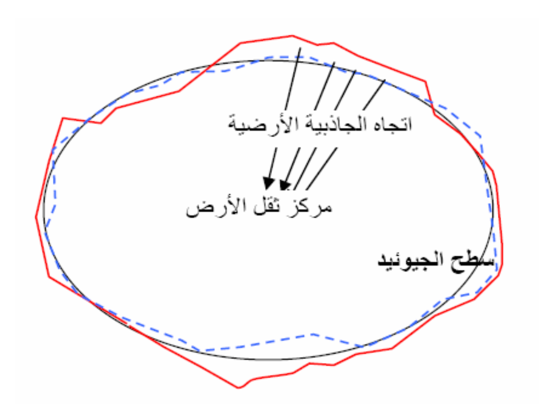
في بدايات المعرفة البشرية ظن الإنسان أن الأرض هي قرص صلب يطفو فوق سطح الماء ، إلي أن تطور التفكير العلمي للبشر قليلا وجاء العالم اليوناني فيثاغورث Pythagoras في القرن السادس قبل الميلاد وافترض أن الأرض كروية الشكل. وكانت أولي محاولات العلماء لتقدير حجم أو محيط هذه الكرة هي تجربة العالم الإغريقي أراتوستين التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول. وفي القرنين الخامس عشر و السادس عشر أيد كلا من الرحالة كولومبس Columbus و ماجلان Magellan فكرة كروية الأرض من خلال رحلاتهما الشهيرة بالدوران حول الأرض. في عام ١٦٨٧م (١٠٩٨ هـ) طور العالم الشهير نيوتن Newtown عدة مبادئ نظرية علمية وكان أهمها: أن الشكل المتوازن لكتلة مائعة متجانسة خاضعة لقوانين الجذب و تدور حول محورها ليس هو شكل الكرة كاملة الاستدارة لكنه شكل مفلطح قليلا باتجاه القطبين. وفي عام ١٧٣٥م (١١٤٧ هـ) قامت أكاديمية العلوم الفرنسية بتنظيم بعثتين لإجراء القياسات اللازمة للتأكد من هذه الفرضية وأثبتت النتائج فعلا أن الأرض مفلطحة وليست كروية الشكل تماما. إن شكل السطح الطبيعي للأرض كما خلقه الله تعالي بما يضمه من قارات و محيطات و جبال و أودية و بحار ليس شكلا سهلا وليس منتظما لكي يمكن التعبير عنه بسهولة (شكل ٥-١).



شكل (٥-١) الأرض غير منتظمة الشكل

بحث العلماء عن شكل افتراضي آخر للأرض يكون أقل تعقيدا واهتدوا إلي فكرة أنه طالما أن مساحة الماء في المحيطات و البحار تشكل حوالي ٧٠% من مساحة الأرض فأن شكل الأرض يكاد يكون هو الشكل المتوسط لسطح الماء (إذا أهملنا حركة سطح الماء بسبب التيارات البحرية و المد و الجزر) Mean Sea Level والمعروف اختصارا بأحرف MSL، وإذا قمنا بمد هذا السطح تحت اليابسة لنحصل علي شكل متكامل فأن هذا الشكل سيكون أقرب ما يكون للشكل الحقيقي للأرض. وتم إطلاق اسم الجيويد أو الجيوئيد Geoid علي هذا

الشكل الافتراضي [يجب ملاحظة أن هناك فرق في حدود متر واحد فقط بين كلا من MSL و الجيويد إلا أنه في معظم التطبيقات الهندسية تتغاضي عن هذا الفرق و نعتبر أن كلا الشكلين أو المصطلحين يشيرا لنفس الجسم]. ولكن طبقا لمبدأ نيوتن السابق فأن شكل هذا الجيويد لن يكون منتظما لان سطح الجيويد يتعامد مع اتجاه قوة الجاذبية الأرضية وأيضا يخضع لقوة الطرد المركزية الناتجة عن دوران الأرض حول محورها ، وكلا القوتين تختلفان من مكان لآخر علي سطح الأرض بسبب عدم توزيع الكثافة بشكل منتظم (يختلف سمك القشرة الأرضية من ٦ إلي ٦- كيلومتر) . وبذلك نخلص إلي أن الجيويد (شكل ٥-٢) هو الشكل الحقيقي للأرض إلا أنه شكل معقد أيضا و يصعب تمثيله بمعادلات رياضية تمكننا من رسم الخرائط و تحديد المواقع عليه.



شكل (٥-٢) الجيويد: الشكل الحقيقي للأرض

لكن و بسبب تعقد الجيويد وصعوبة تمثيله بمعادلات رياضية أتجه العلماء إلي البحث عن أقرب الأشكال الهندسية المعروفة ووجدوا أن القطع الناقص أو الاليبس Ellipse هو الأقرب ، فإذا دار هذا الاليبس حول محوره فسينتج لنا مجسم القطع الناقص أو الاليبسويد أو الشكل البيضاوي Ellipsoid or Ellipsoid of Revolution ويعرف أيضا باسم الاسفرويد Spheroid (لكن اسم الاليبسويد هو الأكثر انتشارا). ربما يتبادر إلي الأذهان الآن سؤال: ما هو الفرق بين الاليبس و الدائرة أو بمعني آخر ما هو الفرق بين الاليبسويد و الكرة؟ بالنظر لشكل ٥-٣ نجد أن الاليبسويد مفلطح قليلا عند كلا القطبين بعكس الكرة التي تكون كاملة الاستدارة تماما ، أيضا الكرة لها قطر و احد له نفس القيمة في جميع الاتجاهات بينما نجد الاليبسويد له محورين مختلفين. للتعبير عن الاليبسويد يلزمنا معرفة عنصرين (لاحظ أن الكرة يعبر عنها بعنصر واحد فقط هو نصف قطرها):

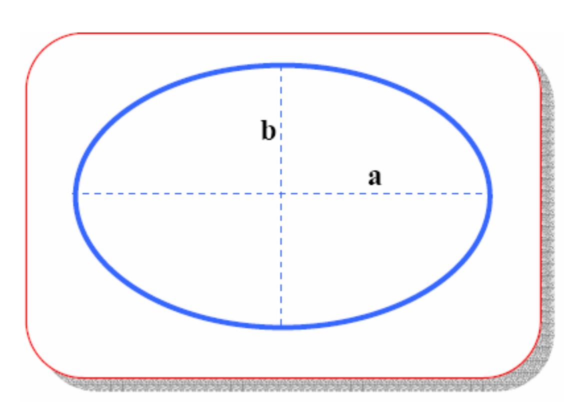
- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a

- نصف المحور الأصغر (المحور بين كلا القطبين) ويرمز له بالرمز b

ويقوم البعض بالتعبير عن الاليبسويد بطريقة أخري من خلال العنصرين:

- نصف المحور الأكبر (المحور في مستوي خط الاستواء) ويرمز له بالرمز a
- معامل التفلطح flattening ويرمز له بالرمز f ويتم حسابه من المعادلة:

$$f = (a - b) / a \quad \text{or} \quad f = 1 - (b / a) \qquad (5\text{-}1)$$

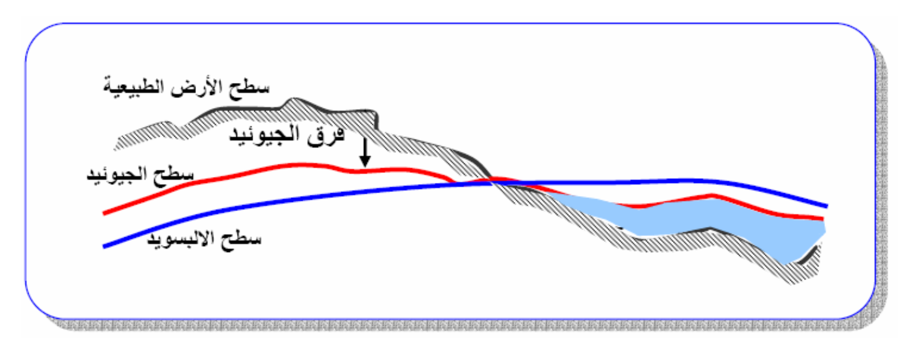


شكل (٥-٣) الاليبسويد

ويتميز شكل الاليبسويد بعدة خصائص مثل (شكل ٥-٤):

أ- سهولة إجراء الحسابات علي سطحه (حيث أنه شكل هندسي معروف).

ب- لا يختلف سطح الاليبسويد الرياضي عن سطح الجيويد الفيزيقي كثيرا (أكبر فرق بين كلاهما لا يتعدي ١٠٠ متر فقط. لاحظ أن الفرق بين الجيويد و الكرة يصل إلي ٢١ كيلومتر تقريبا).



شكل (٥-٤) العلاقة بين الجيويد و الاليبسويد

٣-٥ المراجع

لكي يمكن تحديد المواقع علي سطح الأرض (ومن ثم عمل التمثيل الجغرافي للأهداف و الظاهرات) يلزمنا اختيار شكل رياضي يعبر عن شكل و حجم الأرض ذاتها وهو ما نطلق عليه اسم الشكل المرجعي Reference Surface. أحد هذه الأشكال المرجعية من الممكن أن يكون الكرة والتي كانت مستخدمة لفترة طويلة لتحديد المواقع التي لا تتطلب دقة كبيرة ولرسم الخرائط التي لا يزيد مقياسها عن ١ : مليون. أيضا للمساحات الصغيرة جدا (أقل من ٥٠ كيلومتر مربع) من الممكن اعتبار المستوي Plane شكلا مرجعيا. أما لتحديد المواقع بدقة عالية أو لرسم الخرائط الدقيقة فأن الاليبسويد هو الشكل المرجعي المستخدم.

طوال القرنين الأخيرين تعددت محاولات علماء الجيوديسيا لتحديد أنسب اليبسويد يعبر عن شكل الأرض بأقرب صورة ممكنه. وكلما تجمعت قياسات جيوديسية جديدة لدي أحد العلماء أو الجهات الدولية تم حساب قيم جديدة لعناصر تعريف الاليبسويد (سواء a , b أو a , f) مما أدي لوجود العديد من نماذج الاليبسويد ، ويعرض الجدول التالي بعضا من هذه النماذج.

اسم الاليبسويد	نصف المحور الأكبر a بالمتر	نصف المحور الأصغر b بالمتر	الدولة التي تستخدمه
Helmert 1906	٦٣٧٨٢٠٠	٦٢٥٦٨١٨	مصر
Clarke 1866	٦٣٧٨٢٧٤	٦٣٥٦٦٥١	أمريكا الشمالية
Bassel 1841	٦٣٧٧٣٩٧	٦٣٥٦٠٧٩	وسط أوروبا
Airy 1830	٦٣٧٧٥٦٣	٦٣٥٦٢٥٧	بريطانيا
WGS72	٦٣٧٨١٣٥	٦٣٥٦٧٥٠	عالمي
WGS84	٦٣٧٨١٣٧	٦٣٥٦٧٥٢	عالمي

كانت كل دولة عند بدء إقامة الهيكل الجيوديسي أو المساحي لها بغرض البدء في إنتاج الخرائط غالبا ما تختار أحدث اليبسويد – في ذلك الوقت – لتتخذه السطح المرجعي لنظام خرائطها. فإذا ظهر بعد عدة سنوات اليبسويد آخر لم يكن ممكنا – لأسباب تقنية و مادية – أن تقوم هذه الدولة بتغيير السطح المرجعي لها و إعادة إنتاج و طباعة كل خرائطها من جديد. لكن ما هو المرجع؟ من المعروف أن أي اليبسويد يكون أقرب ما يمكن لتمثيل سطح الأرض علي المستوي العالمي ، أي أن الفروق بينه وبين الجيويد تختلف من مكان لمكان علي سطح الأرض لكنها أقل ما يمكن علي المستوي العالمي. لكن كل دولة عندما تعتمد اليبسويد معين تريد أن يكون الفرق بينه و بين الجيويد أقل ما يمكن في حدودها ولا تهتم إن كانت هذه الفروق كبيرة

في مناطق أخري من العالم. لذلك كانت كل دولة تلجأ لتعديل وضع الاليبسويد المرجعي قليلا Re-Position لكي يحقق هذا الهدف. وفي هذه الحالة – أي بعد إجراء هذا التعديل البسيط – فلم يعد هذا الاليبسويد كما كان في الأصل لكنه صار في وضع مختلف ، وهنا نطلق عليه اسم مرجع أو مرجع جيوديسي أو مرجع وطني أو بيان A geodetic Datum, a local datum, or simply a datum. أي أن المرجع الوطني لأي دولة ما هو إلا اليبسويد عالمي قد تم تعديل وضعه بصورة أو بآخري ليناسب هذه الدولة ويكون أقرب تمثيلا لشكل الجيويد (الشكل الحقيقي للأرض) عند هذه الدولة. كما يجب الإشارة إلي أنه كلما قلت الفروق بين المرجع الوطني لدولة ما و الجيويد كلما زادت دقة الخرائط المرسومة اعتمادا علي هذا المرجع.

ولتوضيح هذه النقطة الهامة أكثر سنأخذ مثال لجمهورية مصر العربية. عند بدء أعمال الجيوديسيا و إنشاء الخرائط في مصر في بداية القرن العشرين كان أحدث اليبسويد متاح في ذلك الوقت هو اليبسويد هلمرت ١٩٠٦. تم اتخاذ القرار باختيار هذا الاليبسويد ليكون سطحا مرجعيا لمصر. وبعد ذلك تم إجراء عدد من التعديلات علي وضع هذا الاليبسويد ليتكون ما يعرف باسم المرجع الوطني المصري ١٩٠٧ Old Egyptian Datum أو اختصارا OED1970. أحد هذه التعديلات كان الفرض بأن الارتفاع عن سطح الاليبسويد = الارتفاع عن متوسط سطح البحر عند النقطة الأساسية المسماة F1 أو نقطة الزهراء بجبل المقطم. هذا الفرض يعني أننا افترضنا أن سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ ينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة (هذا غير حقيقي لكنه فرض أساسي لتسهيل بدء الحسابات الجيوديسية لشبكات الثوابت الأرضية المساحية). وبمعني آخر أننا قمنا برفع سطح اليبسويد هلمرت ١٩٠٦ عدة أمتار لينطبق مع سطح الجيويد عند هذه النقطة المحددة ، وبالتالي لم يعد هلمرت ١٩٠٦ هو ذلك الاليبسويد العالمي الذي تم تحديد شكله و حجمه ووضعه ليكون أقرب ما يمكن لتمثيل شكل الأرض علي المستوي العالمي ، إنما صار له وضع جديد يناسب المنطقة الجغرافية لجمهورية مصر العربية فقط. هنا لا نقول أنه اليبسويد أنما نطلق عليه اسم المرجع المصري.

كما يجب الإشارة في هذا السياق إلي وجود مراجع وطنية عديدة لدول مختلفة كلها تعتمد علي نفس الاليبسويد العالمي ، لكن كل مرجع منهم يعدل وضع هذا الاليبسويد بصورة مختلفة. كمثال فان المراجع الوطنية لكلا من السودان و تونس و المغرب و الجزائر و الإمارات و عمان تعتمد جميعها علي اليبسويد Clarke 1880 لكن كل مرجع له وضع مختلف.

المراجع التي تحدثنا عنها حتى الآن هي ما يمكن أن نطلق عليها اسم المراجع الأفقية Horizontal Datum وهي الخاصة بتحديد المواقع في المستوي الأفقي. أما عند التعامل مع

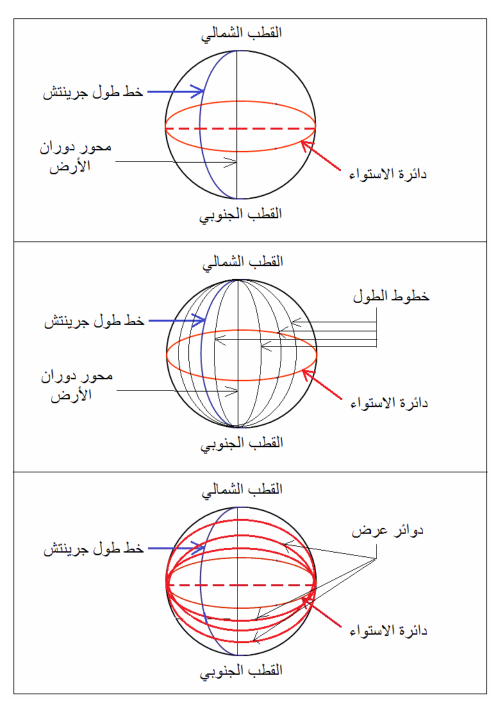
الإحداثيات في المستوي الرأسي (أي الارتفاعات) فأننا نحتاج إلي نوع آخر من المراجع هي المراجع الرأسية Vertical Datum. ويعد الجيويد هو المرجع الرأسي المعتمد في العديد من دول العالم ، أي لتحديد هذا المرجع نحتاج لتحديد النقطة التي يكون عندها متوسط سطح البحر يساوي صفر. وكمثال في مصر فقد تم إنشاء محطة قياس المد و الجزر Tide Gauge في ميناء الإسكندرية وتم تسجيل قياساتها لمدة ٨ سنوات من عام ١٨٩٨ إلي عام ١٩٠٦ وأخذ متوسطها بحيث أن هذه القراءة (علي المسطرة المدرجة داخل المحطة) اعتبرت هي المنسوب المساوي للصفر أي هي النقطة التي تحدد موقع الجيويد. و انطلاقا من هذه النقطة المرجعية تم استخدام أسلوب الميزانية Leveling لإنشاء مجموعة من النقاط – تسمي الروبيرات أو Bench Marks: BM- المعلومة المنسوب و التي تغطي معظم أرجاء مصر. لذلك نقول أن المرجع الوطني الرأسي المصري Vertical Egyptian Datum هو قيمة متوسط سطح البحر MSL عند الإسكندرية في عام ١٩٠٦.

٥-٤ الإحداثيات الجغرافية: خطوط الطول و دوائر العرض

منذ عدة قرون مضت أبتكر العلماء طريقة لتمثيل موقع أي نقطة علي سطح الأرض (باعتبار أن الأرض كرة) وذلك عن طريق:

- تم اتخاذ الخط الأساسي الأفقي هو تلك الدائرة العظمي (أي التي تمر بمركز الأرض) والتي تقع في منتصف المسافة بين القطبين وسميت بدائرة الاستواء the equator.
- أتخذ الخط الأساسي الرأسي ليكون هو نصف الدائرة التي تصل بين القطبين الشمالي و الجنوبي وتمر ببلدة جرينتش بانجلترا (شكل ٥-٥ أ).
- قسمت دائرة الاستواء إلي ٣٦٠ قسما متساويا و رسم علي سطح الأرض ٣٦٠ نصف دائرة (وهمية أو اصطلاحية) تصل بين القطبين وتمر بأحدي نقاط التقسيم علي دائرة الاستواء ، وكل نصف دائرة تسمي خط طول Longitude. ويتضح من ذلك أن الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتي تقسيم متجاورتين تساوي ١ درجة (يرمز للدرجة بالرمز ١°) لان ٣٦٠ درجة تقابل ٣٦٠ قسما. وتم ترقيم خط طول جرينتش بالرقم صفر وخط الطول المجاور له من جهة الشرق ١° شرق ، ثم ٢° شرق ، .... إلي ١٨٠° شرق وبنفس الطريقة للخطوط الواقعة غرب جرينتش من ١° غرب ، إلي ١٨٠° غرب. وتكون زاوية خط الطول (شكل ٥- ٥ ب) هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة الاستواء والمحصورة بين ضلعين يمر أحدهما بخط طول جرينتش بينما يمر الآخر بخط طول النقطة ذاتها.

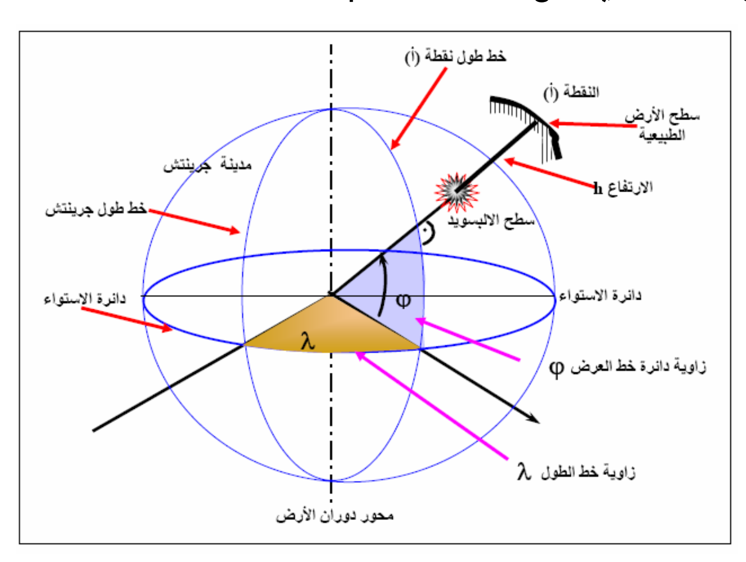
- تم تقسيم خط الطول الأساسي (جرينتش) إلي ١٨٠ قسما متساويا ورسم علي الأرض دوائر صغري وهمية (الدائرة الصغرى هي التي لا تمر بمركز الأرض) توازي دائرة الاستواء وتمر كل دائرة منها بأحدي نقاط تقسيم خط طول جرينتش. وبذلك تكون الزاوية عند مركز الأرض بين نقطتين متجاورتين من نقاط التقسيم تساوي ١° لان ١٨٠ درجة تقابل ١٨٠ قسما ، وأطلق علي هذه الدوائر اسم دوائر العرض ومنهم ٩٠ دائرة شمال دائرة الاستواء و ٩٠ دائرة جنوبه. وبنفس الأسلوب تم ترقيم دائرة الاستواء بالرقم صفر ودائرة العرض المجاور لها من جهة الشمال ١° شمال ، ثم ٢° شمال ، .... إلي ٩٠° شمال وبنفس الطريقة للدوائر الواقعة جنوب دائرة الاستواء من ١° جنوب ، إلي ٩٠° جنوب. زاوية العرض Latitude هي الزاوية الواقعة في مستوي دائرة من دوائر الطول و رأسها عند مركز الدائرة و ضلعها الأساسي يمر في مستوي الاستواء و الضلع الآخر يمر في دائرة من دوائر العرض (شكل ٥-٥ ج).



شكل (٥-٥) تحديد المواقع علي الكرة

يتم تمثيل موقع أي نقطة في هذا النظام بثلاثة قيم أو ثلاثة إحداثيات ، أي أن هذا النظام ثلاثي الأبعاد 3D ، فإذا استخدمت الكرة لتمثيل سطح الأرض فيكون نظام إحداثيات كروية أو جغرافية Spherical or Geographic Coordinates، أما إن تم تمثيل الأرض علي أنها اليبسويد فأن نظام الإحداثيات يسمي الإحداثيات الجيوديسية geodetic Coordinates (شكل ٥-٦) :

- خط الطول Longitude ويرمز له بالرمز اللاتيني λ (ينطق لامدا) ، وهو الزاوية المقاسة في مستوي دائرة الاستواء بين خط طول جرينتش (وهو خط الطول الذي أصطلح دوليا أن يكون رقم صفر) و خط طول النقطة المطلوبة.
- دائرة العرض Latitude ويرمز له بالرمز اللاتيني ϕ (ينطق فاي) ، وهي الزاوية في المستوي الرأسي والتي يصنعها الاتجاه العمودي المار بالنقطة المطلوبة مع مستوي دائرة الاستواء (يلاحظ في الشكل أن الاتجاه العمودي علي سطح الاليبسويد لا يمر بمركز الاليبسويد عكس حالة الكرة حيث يمر العمودي علي سطح الكرة بمركزها).
- الارتفاع عن سطح الاليبسويد ويرمز له بالرمز h ويسمي الارتفاع الجيوديسي أو الارتفاع الاليبسويدي Geodetic or Ellipsoidal Height



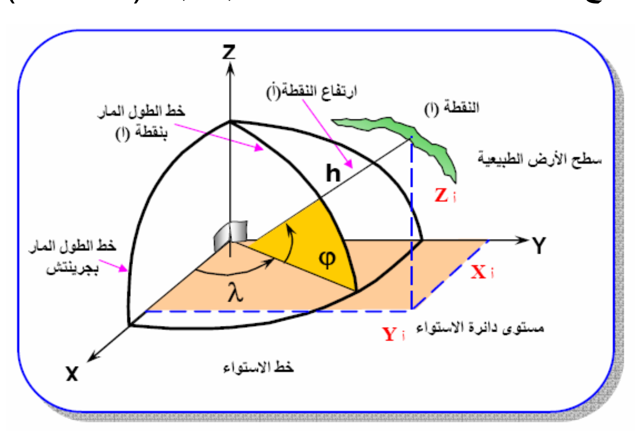
شكل (٥-٦) الإحداثيات الجيوديسية

توجد عدة نظم للوحدات المستخدمة في التعبير عن خطوط الطول و دوائر العرض أشهرها نظام الوحدات الستيني ، وفيه يتم تقسم الدائرة الكاملة إلي ٣٦٠ درجة (رمز الدرجة هو °) ثم تقسم الدرجة إلي ٦٠ جزء كلا منهم يسمي الدقيقة (رمز الدقيقة هو ') ثم لاحقا تقسم الدقيقة الواحدة إلي ٦٠ جزء يسمي الواحد منهم بالثانية (رمز الثانية هو "). كمثال: خط الطول ٣٠° ٤٥' ٥٢.٣" يعني أن موقع هذه النقطة عند ٣٠ درجة و ٤٥ دقيقة و ٥٢.٣ ثانية.

تكون خطوط الطول أما شرق خط طول جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف ق أو E) أو غرب جرينتش (يرمز لها بإضافة حرف غ أو W). أما بالنسبة لدوائر العرض فتكون أما شمال دائرة الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ش أو N) أو جنوب خط الاستواء (يرمز لها بإضافة حرف ج أو S).

٥-٥ الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية أو الفراغية أو الديكارتية

هو نظام إحداثيات مشابه تماما في تعريفه لنظام الإحداثيات الجيوديسية ألا أنه يتميز أن إحداثياته الثلاثة تكون طولية (أي بالمتر أو الكيلومتر) و ليس منحنية (بالدرجات) مما يجعله أسهل في التعامل وخاصة في الحسابات ، وقد أبتكره العالم الفرنسي ديكارت في القرن السابع عشر. نقطة الأصل لنظام الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية Cartesian Geodetic Coordinates هي مركز الأرض ومحوره الأول X ينشأ من تقاطع مستوي خط الطول المار بجرينتش مع مستوي دائرة الاستواء ومحوره الثاني Y هو العمودي علي محور X بينما المحور الثالث (الرأسي) Z هو محور دوران الأرض و الذي يمر بمركز الأرض وكلا القطبين. ويعبر عن موقع كل نقطة بثلاثة إحداثيات: X, Y, Z (شكل ٥-٧).



شكل (٥-٧) الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية

يمكن باستخدام مجموعة المعادلات التالية تحويل الإحداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) إلي الإحداثيات الجيوديسية الكارتيزية (X, Y, Z):

$$X = (c + h) \cos \phi \cos \lambda$$
$$Y = (c + h) \cos \phi \sin \lambda \qquad (5\text{-}2)$$
$$Z = [\, h + c\, (1 - e^2)\,] \sin \phi$$

حيث c يسمي نصف قطر التكور radius of curvature ، e تسمي المركزية الأولي first eccentricity ويتم حسابهما كالتالي:

$$c = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \phi)}} \qquad (5\text{-}3)$$

$$e = [\sqrt{(a^2 - b^2)}\,] / a \qquad (5\text{-}4)$$

أمـا للتحويـل مـن الإحـداثيات الجيوديـسية الكارتيزيـة (X, Y, Z) إلـي الإحـداثيات الجيوديسية أو الجغرافية (ϕ, λ, h) فأحد الحلول يتمثل في المعادلات التالية:

$$\tan \lambda = Y / X$$

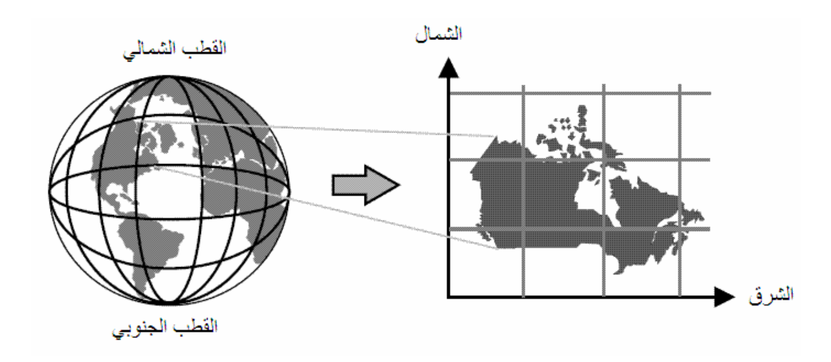
$$\tan \phi = \frac{Z / \sqrt{(X^2 + Y^2)}}{1 - e^2 (c / (c + h))} \qquad (5\text{-}5)$$

$$h = \frac{\sqrt{(X^2+Y^2)}}{\cos \phi} - c$$

ونلاحظ في هذه المعادلات أننا نحتاج لمعرفة قيمة c لكي نستطيع حساب قيمة ϕ و h ، لكن لنحسب قيمة c من المعادلة ٢-٣ فأننا نحتاج لمعرفة قيمة ϕ ! ولذلك يتم حساب هذا النوع من التحويل بطريقة تكرارية Iterative ، حيث نبدأ باستخدام قيمة تقريبية لدائرة العرض ϕ ونحسب قيمة تقريبية لنصف قطر التكور c ثم نأخذ قيمة c هذه لنحسب منها قيمة جديدة ϕ وهكذا لعدد من المرات إلي أن نجد عدم وجود أي فرق جوهري Significant بين قيمتين متتاليتين لدائرة العرض ϕ.

٥-٦ إسقاط الخرائط

إسقاط الخرائط Map Projection هو العملية الرياضية التي تمكننا من تحويل الإحداثيات علي مجسم الأرض - سواء كان الشكل المرجعي الذي يمثل الأرض هو الكرة أو الاليبسويد- (أي إحداثيات ثلاثية الأبعاد) إلي إحداثيات ممثلة علي سطح مستوي وهو الخريطة (أي إحداثيات ثنائية الأبعاد أو إحداثيات شبكية Grid Coordinates). أو بمعني آخر: هو العملية التي تمكننا من تحويل قيم خط الطول و دائرة العرض لموقع إلي الاحداثي الشرقي و الاحداثي الشمالي المطلوبين لتوقيع هذا الموقع علي الخريطة (شكل ٥-٨). ويسمي الشكل الناتج عن عملية الإسقاط بالمسقط.



شكل (٥-٨) عملية إسقاط الخرائط

ولا يمكن بأي حال من الأحوال أن تتم عملية تحويل الشكل المجسم للأرض إلي شكل مستوي (خريطة) بصورة تامة ولكن سيكون هناك ما نسميه " التشوه Distortion" في أي طريقة من طرق إسقاط الخرائط. تحاول الطرق المختلفة لإسقاط الخرائط أن تحافظ علي واحدة أو أكثر من الخصائص التالية بين الهدف الحقيقي علي الأرض و صورته علي الخريطة(مرة أخري لا يمكن تحقيق كل الخصائص مجتمعة):

- تطابق في المساحات
- تطابق في المسافات
- تطابق في الاتجاهات
- تطابق في الزوايا
- تطابق في الأشكال

هناك بعض أنواع الإسقاط التي تحافظ علي المسافات وتسمي مساقط المسافات المتساوية Equidistance Projection وأنواع تحافظ علي الأشكال و الزوايا معا لكن في مساحات محدودة وتسمي مساقط التماثل Conformal Projection (وهي الأقرب للاستخدام في التطبيقات المساحية) وأنواع ثالثة تحافظ علي المساحات وتسمي مساقط المساحات المتساوية Equal-Area Projection.

تنقسم مساقط الخرائط إلي ٤ مجموعات رئيسية:

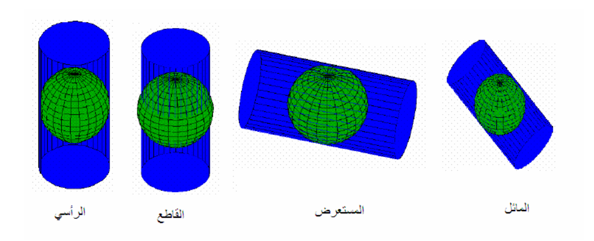
أ- المساقط الاسطوانية Cylindrical Projections: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي اسطوانة والتي أما تمس الأرض رأسيا أو تقطعها أو تمس الأرض عرضيا أو بصورة مائلة (شكل ٥-٩).

ب- المساقط المخروطية Conical; Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مخروط والذي أما يمس الأرض رأسيا أو يقطعها (شكل ٥-١٠).

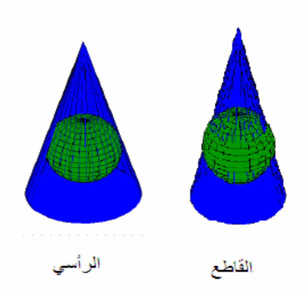
ت- المساقط السمتية أو المستوية أو الاتجاهية Azimuthal Projection: تنشأ من إسقاط سطح الأرض علي مستوي والذي أما يمس الأرض رأسيا عند نقطة محددة أو يقطعها في دائرة (شكل ٥-١١).

ث- مساقط أخري خاصة.

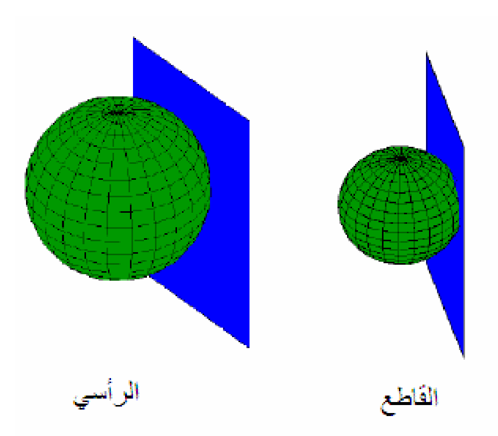
غالبا يلعب شكل المنطقة الجغرافية المطلوب إسقاطها دورا مهما في تحديد طريقة الإسقاط المناسبة ، فكمثال نختار طريقة إسقاط سمتية إذا كانت شكل المنطقة شبه دائري و طريقة إسقاط اسطوانية للمناطق شبه المستطيلة و طريقة إسقاط مخروطية للمناطق شبه المثلثية.



شكل (٥-٩) طرق الإسقاط الاسطواني



شكل (٥-١٠) طرق الإسقاط المخروطي

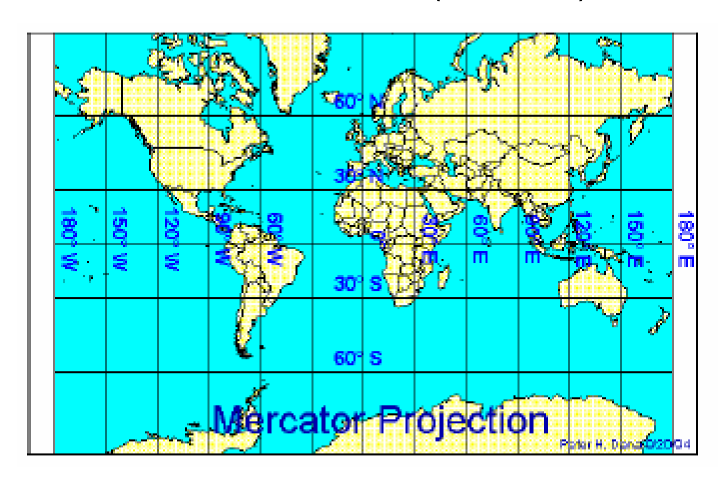


شكل(٥-١١) طرق الإسقاط السمتي أو المستوي

وفي الجزء التالي سنستعرض بعض نماذج مساقط الخرائط الشهيرة:

<u>مسقط ميريكاتور Merecator Projection:</u>

مسقط أسطواني يحقق شرط أن خطوط الطول و دوائر العرض تتقاطع في زوايا قائمة تماما. يكون المقياس scale صحيحا عند دائرة الاستواء أو عند دائرتي عرض قياسيتين Standard Parallels علي مسافات متساوية من الاستواء. غالبا يستخدم هذا المسقط في الخرائط البحرية (شكل ٥-١٢).



شكل (٥-١٢) مسقط ميريكاتور

<u>مسقط ميريكاتور المستعرض Transverse Merecator Projection:</u>

ينتج هذا المسقط من إسقاط الأرض علي اسطوانة تمسها عند خط طول مركزي Central Meridian. وغالبا يستخدم هذا المسقط للمناطق التي تمتد في اتجاه شمال-جنوب أكبر من امتدادها في اتجاه شرق-غرب. يزداد التشوه (في المقياس و المسافة و المساحة) كلما ابتعدنا عن خط الطول المركزي ، ولذلك نلجأ إلي فكرة الشرائح عند استخدام هذا المسقط حيث يكون عرض الشريحة الواحدة – في اتجاه الشرق – ثلاثة أو أربعة درجات من خطوط الطول بحيث لا يكون مقدار التشوه كبيرا عند أطراف الشريحة التي يقع خط طولها المركزي في منتصفها. مسقط ميريكاتور المستعرض مستخدم في خرائط الكثير من دول العالم مثل مصر و بريطانيا.

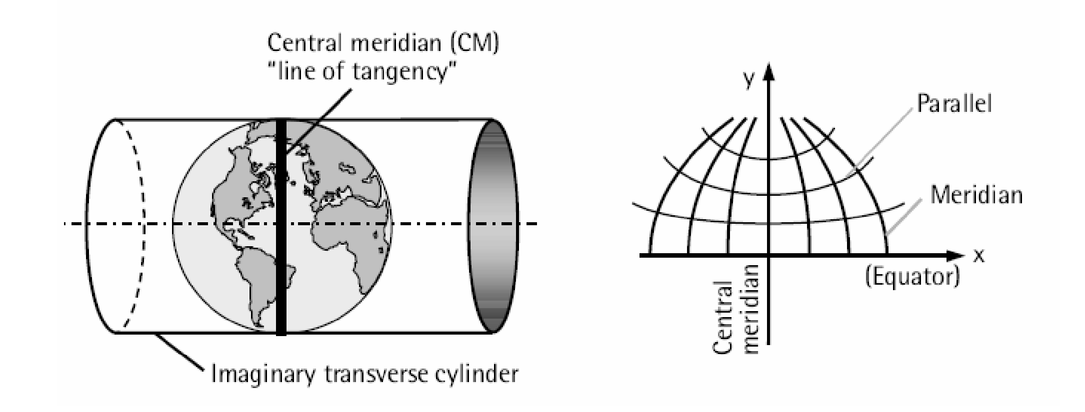
٥-٧ نظام إحداثيات ميريكاتور المستعرض العالمي

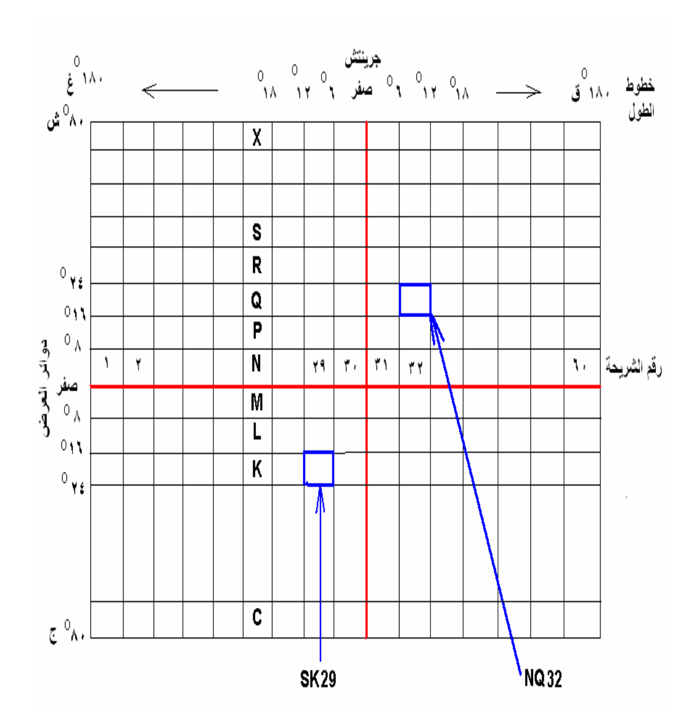
يعد أشهر أنواع مساقط الخرائط علي المستوي العالمي و يرمز له اختصارا بأحرف UTM (شكل ٥-١٣). كما زادت أهميته في السنوات الأخيرة بسبب أنه أحد المساقط المستخدمة في أجهزة تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS.

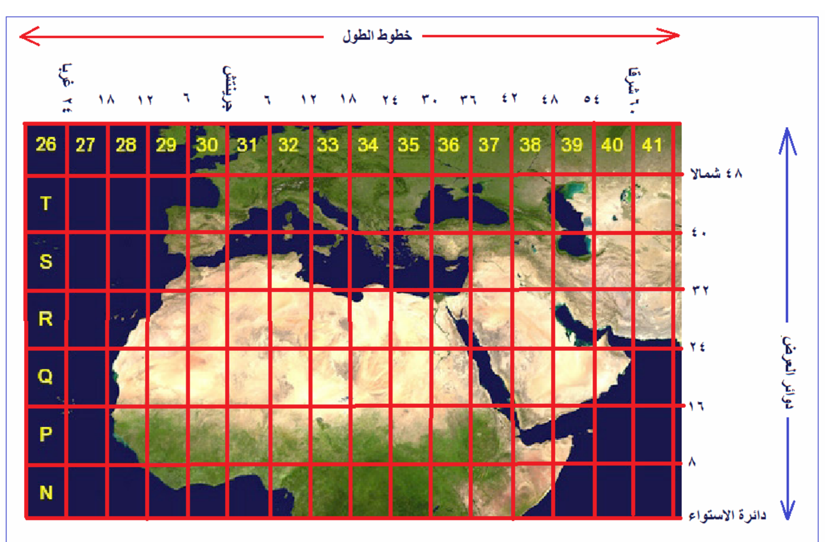
- يعتمد مسقط UTM علي إيجاد طريقة لرسم خرائط العالم كله وذلك عن طريق تقسيم الأرض إلي ٦٠ شريحة zones كلا منها يغطي **٦ درجات** من خطوط الطول بحيث يكون لكل شريحة مسقط UTM له خط طول مركزي Central Meridian يقع في مركز هذه الشريحة.
- تمتد شرائح مسقط UTM من دائرة العرض ٨٠ جنوبا إلي دائرة العرض ٨٤ شمالا.
- ترقم الشرائح من رقم ١ إلي رقم ٦٠ بدءا من خط الطول 180^{o} غرب ، بحيث تمتد الشريحة الأولي من 180^{o} غرب إلي 174^{o} غرب ويكون خط طولها المركزي meridian central عند 177^{o} غرب.
- تقسم كل شريحة طولية إلي مربعات كل **٨ درجات** من دوائر العرض.
- يكون هناك حرف خاص – كاسم - لكل مربع من هذه المربعات ، وتبدأ الحروف من حرف **C** جنوبا إلي حرف X شمالا مع **استبعاد** حرفي I و O (لقرب الشبه بينهما وبين الأرقام الانجليزية!).

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	2	3	4	5	6	-	7	8	9	10	11	-	12	13	14	15	16

- يكون معامل المقياس scale factor مساويا ٠.٩٩٩٦ عند خط الطول المركزي ، بحيث مع ازدياد التشوه كلما بعدنا عن خط الطول المركزي فأن أقصي قيمة لمعامل القياس عند أطراف الشريحة ستكون ١.٠٠٠٩٧ عند خط الاستواء أو ١.٠٠٠٢٩ عند دائرة عرض 45^{o} ش.



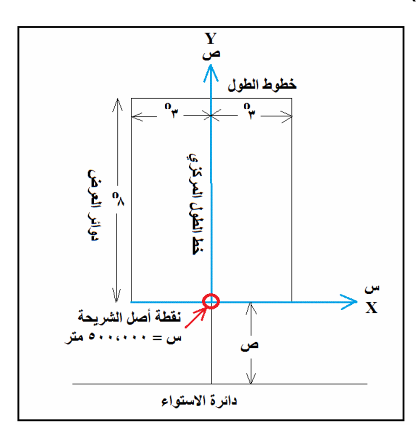




شكل (٥-١٣) مسقط ميريكاتور المستعرض

يتكون نظام الإحداثيات المسقطة في UTM من (شكل ٥-١٤):

- نقطة الأصل (صفر ، صفر) للشريحة تقع في تقاطع خط الطول المركزي للشريحة مع دائرة الاستواء.
- الاحداثي السيني X في اتجاه الشرق.
- الاحداثي الصادي Y في اتجاه الشمال.
- تعطي قيمة إحداثيات شرقية زائفة False Easting لنقطة الأصل بقيمة ٥٠٠،٠٠٠ متر (لذلك فأن الاحداثي السيني لا يزيد عن ٦ خانات).
- لا تعطي أي قيمة إحداثيات شمالية زائفة False Easting لنقطة الأصل، أي أن قيمة الصفر في اتجاه الشمال تكون بالفعل عند دائرة الاستواء (وبذلك فأن الاحداثي الصادي قد يصل إلي ٧ خانات).

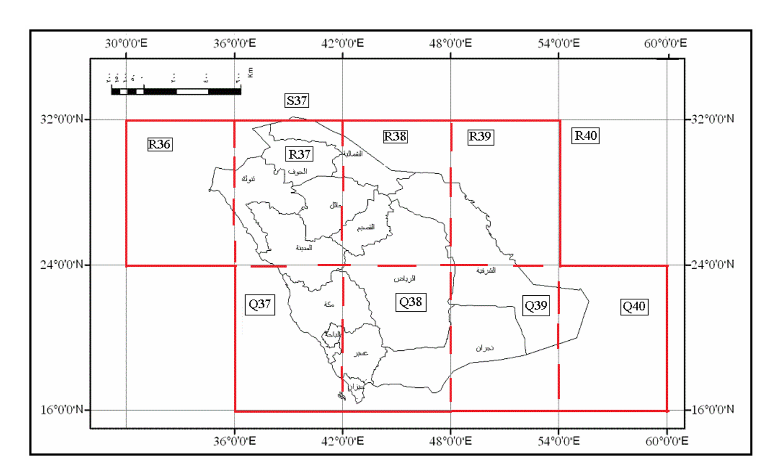


شكل (٥-١٤) شرائح مسقط ميريكاتور المستعرض العالمي

إضافة لما سبق ذكره في الأجزاء السابقة عن خصائص مسقط UTM فنضيف أيضا أنه لعدم وجود أي إحداثيات سالبة (الوضع غير المستحب في المساحة و الخرائط) فقد تم الأخذ بمبدأ المركز الزائف أو المفترض False Origin. في كل شريحة من شرائح مسقط UTM تقاس الإحداثيات الشرقية من خط الطول المركزي والذي يعطي لـه إحداثيات شرقية زائفة تساوي ٥٠٠ كم ، بينما تقاس الإحداثيات الشمالية مباشرة من دائرة الاستواء. وهذا الوضع يجعل من المهم جدا في أي خريطة UTM أن نعرف رقم الشريحة التي تعتمد عليها إحداثيات هذه الخريطة (حيث أن قيم الإحداثيات الشرقية ستتكرر من خريطة لآخري تقع معها علي نفس الامتداد من خطوط الطول).

تعد المملكة العربية السعودية من الدول التي تعتمد في خرائطها علي نظام UTM ، وقد اعتمدت الالليبسويد العالمي لعام ١٩٢٤ International Ellipsoid 1924 (حيث

نصف المحور الأكبر = ٦٣٧٨٣٨٨ متر و التفلطح 1/f = ٢٩٧) كسطح مرجعي في مرجعها الجيوديسي الوطني المسمي عين العبد ١٩٧٠. ويقدم شكل ٥-١٥ أرقام الشرائح التي تغطي المناطق الإدارية للمملكة.



شكل (٥-١٥) شرائح مسقط UTM للمملكة العربية السعودية

٥-٨ التحويل بين الإحداثيات الكروية و المسقطة

تتكون معادلات التحويل من الإحداثيات الجغرافية (خط الطول و دائرة العرض) إلي الإحداثيات المترية بنظام UTM من عدة معادلات ليست بسيطة ولا يمكن حسابها بآلة حاسبة بل تحتاج لبرنامج كمبيوتر لإتمامها. الشكل التالي يقدم هذه المعادلات بصورة شاملة دون الدخول في تفاصيلها الكاملة (شكل ٥-١٥ و ٥-١٦).

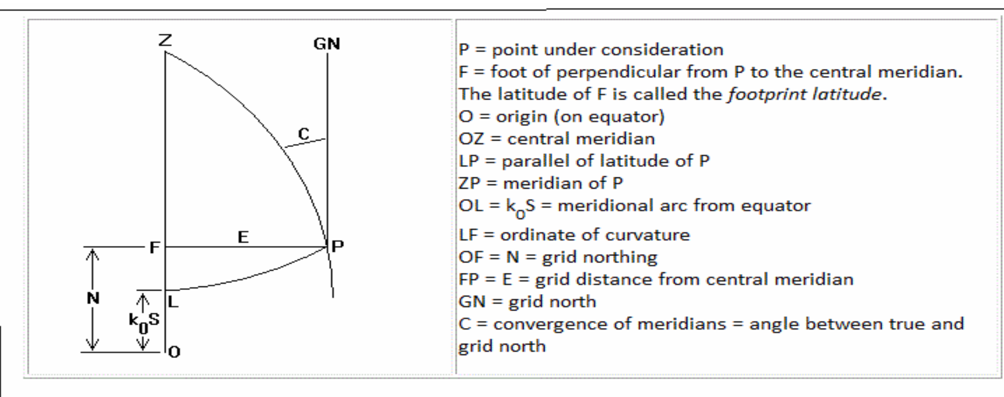
تجدر الإشارة لوجود بعض المواقع علي شبكة الانترنت التي تقدم خدمات آنية on-line لإجراء هذه الحسابات و تحويل الإحداثيات، ومنهم علي سبيل المثال:

http://www.rcn.montana.edu/resources/tools/coordinates.aspx

http://gis.dep.wv.gov/convert/llutm_conus.php

http://www.geod.nrcan.gc.ca/tools-outils/tools_info_e.php?apps=gsrug

http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html



Symbols

- lat = latitude of point
- long = longitude of point
- $long_0$ = central meridian of zone
- k_0 = scale along $long_0$ = 0.9996. Even though it's a constant, we retain it as a separate symbol to keep the numerical coefficients simpler, also to allow for systems that might use a different Mercator projection.
- e = SQRT($1-b^2/a^2$) = .08 approximately. This is the eccentricity of the earth's elliptical cross-section.
- $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$ = .007 approximately. The quantity e' only occurs in even powers so it need only be calculated as e'^2.
- n = (a-b)/(a+b)
- rho = $a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(lat))^{3/2}$. This is the radius of curvature of the earth in the meridian plane.
- nu = $a/(1-e^2\sin^2(lat))^{1/2}$. This is the radius of curvature of the earth perpendicular to the meridian plane. It is also the distance from the point in question to the polar axis, measured perpendicular to the earth's surface.
- p = ($long-long_0$) **in radians** (This differs from the treatment in the Army reference)

Calculate the Meridional Arc

S is the meridional arc through the point in question (the distance along the earth's surface from the equator). All angles are in radians.

- S = A'lat - B'sin(2lat) + C'sin(4lat) - D'sin(6lat) + E'sin(8lat), where lat is in radians and
- A' = $a[1 - n + (5/4)(n^2 - n^3) + (81/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- B' = $(3 \tan S/2)[1 - n + (7/8)(n^2 - n^3) + (55/64)(n^4 - n^5)$ ...]
- C' = $(15 \tan^2 S/16)[1 - n + (3/4)(n^2 - n^3)$ ...]
- D' = $(35 \tan^3 S/48)[1 - n + (11/16)(n^2 - n^3)$ ...]
- E' = $(315 \tan^4 S/512)[1 - n$ ...]

The USGS gives this form, which may be more appealing to some. (They use M where the Army uses S)

- $M = a[(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 ....)lat$
  $- (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024...)\sin(2lat)$
  $+ (15e^4/256 + 45e^6/1024 + ...)\sin(4lat)$
  $- (35e^6/3072 + ...) \sin(6lat) + ...)]$ where lat is in radians

This is the hard part. Calculating the arc length of an ellipse involves functions called *elliptic integrals*, which don't reduce to neat closed formulas. So they have to be represented as series.

Converting Latitude and Longitude to UTM

All angles are in radians.

y = northing = $K1 + K2p^2 + K3p^4$, where

- $K1 = Sk_0$,
- $K2 = k_0$ nu sin(lat)cos(lat)/2 = k_0 nu sin(2 lat)/4
- $K3 = [k_0$ nu $\sin(lat)\cos^3(lat)/24][(5 - \tan^2(lat) + 9e'^2\cos^2(lat) + 4e'^4\cos^4(lat)]$

x = easting = $K4p + K5p^3$, where

- $K4 = k_0$ nu cos(lat)

شكل (٥-١٥) معادلات تحويل الإحداثيات من نظام UTM إلي النظام الجغرافي

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

Converting UTM to Latitude and Longitude

In response to innumerable e-mails, you *cannot* use UTM grid coordinates without knowing your zone. There are sixty points on the earth's surface that have the same numerical UTM coordinates, 120 if you consider that northing is duplicated in both hemispheres.

y = northing, x = easting (relative to central meridian; subtract 500,000 from conventional UTM coordinate).

Calculate the Meridional Arc

This is easy: $M = y/k_0$.

Calculate Footprint Latitude

- $mu = M/[a(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256...)$
- $e_1 = [1 - (1 - e^2)^{1/2}]/[1 + (1 - e^2)^{1/2}]$

footprint latitude fp = mu + J1sin(2mu) + J2sin(4mu) + J3sin(6mu) + J4sin(8mu), where:

- $J1 = (3e_1/2 - 27e_1^3/32 ..)$
- $J2 = (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32 ..)$
- $J3 = (151e_1^3/96 ..)$
- $J4 = (1097e_1^4/512 ..)$

Calculate Latitude and Longitude

- $e'^2 = (ea/b)^2 = e^2/(1-e^2)$
- $C1 = e'^2\cos^2(fp)$
- $T1 = \tan^2(fp)$
- $R1 = a(1-e^2)/(1-e^2\sin^2(fp))^{3/2}$. This is the same as rho in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $N1 = a/(1-e^2\sin^2(fp))^{1/2}$. This is the same as nu in the forward conversion formulas above, but calculated for fp instead of lat.
- $D = x/(N1k_0)$

lat = fp - Q1(Q2 - Q3 + Q4), where:

- $Q1 = N1 \tan(fp)/R1$
- $Q2 = (D^2/2)$
- $Q3 = (5 + 3T1 + 10C1 - 4C1^2 - 9e'^2)D^4/24$
- $Q4 = (61 + 90T1 + 298C1 + 45T1^2 - 3C1^2 - 252e'^2)D^6/720$

long = long0 + (Q5 - Q6 + Q7)/cos(fp), where:

- $Q5 = D$
- $Q6 = (1 + 2T1 + C1)D^3/6$
- $Q7 = (5 - 2C1 + 28T1 - 3C1^2 + 8e'^2 + 24T1^2)D^5/120$

شكل (٥-١٦) معادلات تحويل الإحداثيات من النظام الجغرافي إلي نظام UTM

(المرجع: http://www.uwgb.edu/dutchs/usefuldata/utmformulas.htm)

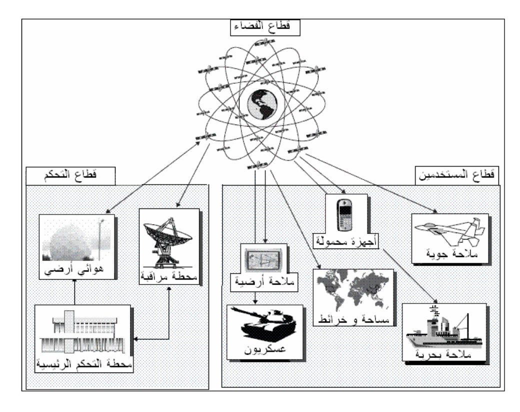
٥-٩ قياس الإحداثيات بتقنية الجي بى أس

في عام ١٩٦٩م (١٣٨٨ هـ) قامت وزارة الدفاع الأمريكية بإنشاء برنامج تحت اسم البرنامج العسكري للملاحة بالأقمار الصناعية DNSS ويهدف لإطلاق نظام ملاحي جديد. وبالفعل تم اقتراح تقنية جديدة تحت اسم "النظام العالمي الملاحي لتحديد المواقع بقياس المسافة و الزمن باستخدام الأقمار الصناعية NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System" أو اختصارا باسم NAVSRAT GPS ، إلا أنه عرف علي نطاق واسع – بعد ذلك – باسم النظام العالمي لتحديد المواقع أو اختصارا "جي بي أس GPS". وتشتمل تقنية الجي بي أس علي العديد من المميزات التي ساعدت علي انتشارها بصورة لم يسبق لها مثيل ومنها:

- متاح طوال ٢٤ ساعة يوميا ليلا و نهارا وعلي مدار العام كله.
- يغطي جميع أنحاء الأرض.
- لا يتأثر بأية ظروف مناخية مثل درجات الحرارة و المطر و الرعد و البرق.
- الدقة العالية في تحديد المواقع لدرجة تصل إلي ملليمترات في بعض التطبيقات و طرق الرصد الجيوديسية أو دقة أمتار قليلة للتطبيقات الملاحية.
- الوفرة الاقتصادية بحيث أن تكلفة استخدام الجي بي أس تقل بنسبة أكبر من ٢٥% بالمقارنة بأي نظام ملاحي أرضي أو فضائي آخر.
- لا يحتاج لخبرة تقنية متخصصة لتشغيل أجهزة الاستقبال (وخاصة المحمولة يدويا) لدرجة أن بعض مستقبلات الجي بي أس أصبحت تدمج في أجهزة الاتصال التليفوني.

يتكون نظام الجي بي أس من ثلاثة أجزاء أو أقسام (شكل ٥-١٧) هي:

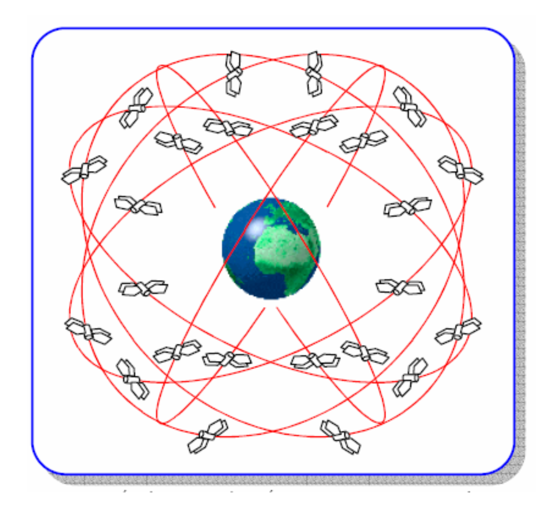
- قسم الفضاء ويحتوي الأقمار الصناعية Space Segment.
- قسم التحكم و السيطرة Control Segment.
- قسم المستقبلات الأرضية أو المستخدمون User Segment.



شكل (٥-١٧) أقسام الجي بي أس

قسم الفضاء أو الأقمار الصناعية:

يتكون قسم الفضاء - اسميا - من ٢٤ قمرا صناعيا (٢١ قمر عامل + ٣ أقمار احتياطية spare موجدة في الفضاء) موزعة في ٦ مدارات بحيث يكون هناك ٤ أقمار صناعية في كل مدار مما يسمح بالتغطية الدائمة (أي وجود علي الأقل ٤ أقمار صناعية) لكل موقع علي سطح الأرض في أي لحظة طوال اليوم (شكل ٥-١٨). وقد يصل عدد الأقمار الصناعية في وقت معين إلي ما هو أكثر من ٢٤ قمرا طبقا لخطة إطلاق الأقمار الصناعية. وتدور الأقمار الصناعية في مدارات شبه دائرية علي ارتفاع حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض ليكمل كل قمر صناعي دورة كاملة حول الأرض في مدة ١١ ساعة و ٥٦ دقيقة بالتوقيت الزمني الأرضي العالمي GMT. ويتراوح وزن القمر الصناعي بين ٤٠٠ و ٨٥٠ كيلوجرام ويبلغ عمره الافتراضي (للأجيال الحديثة من الأقمار الصناعية) حوالي سبعة سنوات و نصف، ويستمد طاقته من خلال صفيحتين لالتقاط الطاقة الشمسية بالإضافة لوجود ثلاثة بطاريات احتياطية من النيكل تزوده بالطاقة عندما يمر بمنطقة ظل الأرض. ويقوم كل قمر صناعي بتوليد موجتين علي ترددين مختلفين Frequency يسموا L1 و L2 بالإضافة لشفرتين Codes و رسالة ملاحية Navigation Message يتم بثهم علي هذين الترددين. كما يحتوي كل قمر علي عدد من الساعة الذرية Atomic Watch سواء من نوع السيزيوم cesium أو الرابيديوم rubidium.



شكل (٥-١٨) قطاع الفضاء في تقنية الجي بي أس

قسم التحكم و المراقبة:

يتكون قسم التحكم و المراقبة من محطة التحكم الرئيسية في ولاية كلورادو الأمريكية وأربعة محطات مراقبة في عدة مواقع حول العالم. تستقبل محطات المراقبة كل إشارات الأقمار الصناعية وتحسب منها المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل هذه المعطيات بالإضافة

لقياسات الأحوال الجوية إلي محطة التحكم الرئيسية والتي تستخدم هذه البيانات في حساب المواقع اللاحقة للأقمار وسلوك (تصحيحات) ساعاتها وبالتالي تكون الرسالة الملاحية لكل قمر صناعي. تقوم محطة التحكم الرئيسية بعمل التصحيحات اللازمة لمدارات الأقمار الصناعية وكذلك تصحيح ساعات الأقمار ، ثم تقوم بإرسال هذه المعلومات للأقمار الصناعية (مرة كل ٢٤ ساعة) والتي تقوم بتعديل مساراتها و أزمانها وبعد ذلك ترسل هذه البيانات المصححة كإشارات إلي أجهزة الاستقبال الأرضية.

<u>قسم المستقبلات الأرضية:</u>

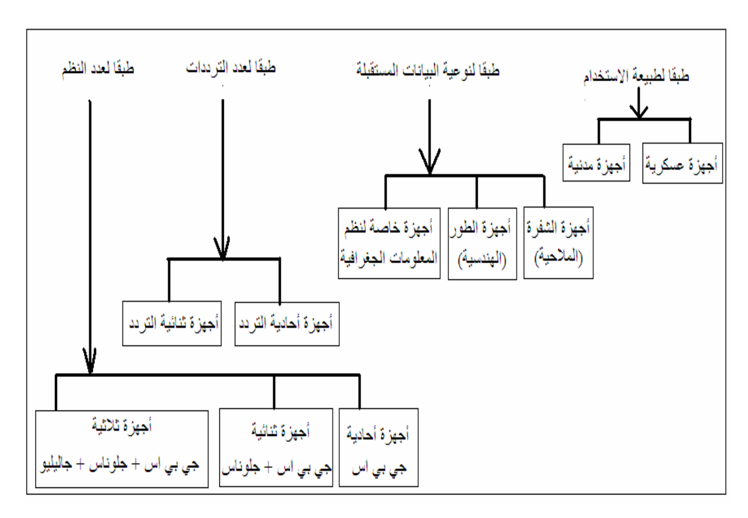
يضم هذا القطاع أجهزة استقبال الجي بي أس (مستخدمو النظام) التي تستقبل إشارات الأقمار الصناعية وتقوم بحساب موقع – إحداثيات – المكان الموجود به المستقبل سواء علي الأرض أو في الجو أو في البحر ، بالإضافة لسرعة واتجاه حركة المستقبل إن كان متحركا أثناء فترة الرصد (شكل ٥-١٩). بصفة عامة يتكون جهاز الاستقبال من: هوائي مع مضخم إشارة ، وحدة تردد راديوي أو لاقط الإشارات، مولد ترددات ، وحدة تأمين الطاقة الكهربائية ، وحدة التحكم للمستخدم ، بالإضافة إلي وحدة ذاكرة لتخزين القياسات. تتعدد أنواع أجهزة الاستقبال بصورة كبيرة جدا طبقا لعدد من العوامل، وتشمل:

أ- <u>طبقا لطبيعة الاستخدام:</u> توجد أجهزة استقبال عسكرية (تستطيع التعامل مع الشفرة العسكرية التي تبثها الأقمار الصناعية وتفك شفرتها للحصول علي دقة عالية جدا في حساب المواقع) وأجهزة استقبال مدنية.

ب- <u>طبقا لنوعية البيانات المستقبلة:</u> توجد مستقبلات تسمي بأجهزة الشفرة Code ومشهورة أيضا باسم الأجهزة الملاحية Navigation Receivers أو الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held Receivers ، وتوجد أجهزة تسمي بأجهزة قياس الطور Phase ومعروفة أيضا باسم الأجهزة الهندسية أو الجيوديسية Geodetic Receivers ، وظهرت حديثا الفئة الثالثة من الأجهزة والتي أطلق عليها أجهزة تجميع البيانات لنظم المعلومات الجغرافية GIS-Specific Receivers (شكل ٥-٢٠).

ج- <u>طبقا لعدد الترددات:</u> توجد أجهزة تستقبل تردد واحد من الترددين الذين تبثهما الأقمار الصناعية وتسمي أجهزة أحادية التردد Single-Frequency Receivers أو أجهزة التردد الأول L1-Receivers ، وأجهزة ثنائية التردد Dual-Frequency Receivers التي تستطيع استقبال كلا ترددي الجي بي أس L1 and L2 (وهي أغلي قليلا من الأجهزة أحادية التردد).

د- طبقا لعدد النظم: هناك أجهزة تتعامل فقط مع إشارات نظام الجي بي أس ، وأجهزة ثنائية النظام تستقبل الإشارات من كلا من الجي بي أس و النظام الملاحي الروسي جلوناس، وأجهزة ثلاثية النظم حيث يمكنها أيضا استقبال إشارات النظام الملاحي الأوروبي جاليليو عند بدء العمل به،



شكل (٥-١٩) أنواع أجهزة استقبال الجي بي أس



شكل (٥-٢٠) بعض أجهزة استقبال الجي بي أس

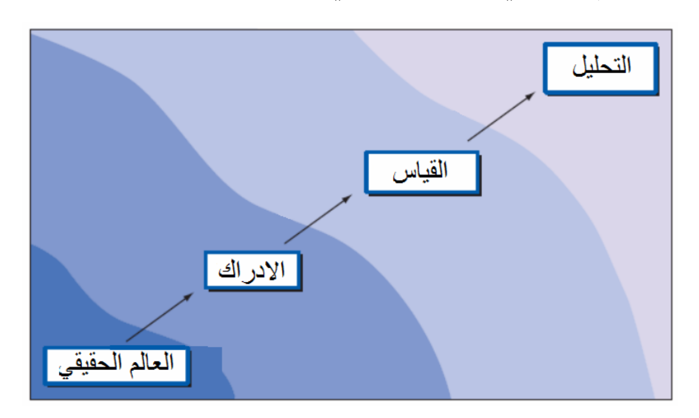
الفصل السادس

دقة وجودة تمثيل العالم الحقيقي

٦-١ مقدمة

يأتي عدم اليقين uncertainty (أو عدم الدقة التامة) في التمثيل الجغرافي من الحقيقة التي أوردناها سابقا وهي أن أي تمثيل يكون غير كامل incomplete، ومن ثم أي نظام معلومات جغرافي قد يتعرض لأخطاء في القياس أو عدم الحداثة أو التعميم الشديد. ومن ثم فقد ظهر مصطلح "عدم اليقين " ليعبر عن تفاعل عدة عوامل مؤثرة علي البيانات الجغرافية مثل الخطأ errors وعدم الدقة inaccuracy و الالتباس ambiguity و الغموض vagueness. ويمكن تعريف عدم اليقين علي أنه مقياس لعدم فهم المستخدم للفروق بين العالم الحقيقي وقاعدة البيانات الجغرافية، أو بين الظاهرة الحقيقية و البيانات الممثلة لها. وبالتالي فأن مصطلح عدم اليقين يتم استخدامه في علم نظم المعلومات الجغرافية ليعبر عن كل العوامل التي تصف عدم كمال التمثيل الجغرافي الرقمي، أو يتم استخدامه ليعبر عن مؤشر للدقة العامة في نظام المعلومات الجغرافي.

من الممكن تخيل أن عدم اليقين في نظم المعلومات الجغرافية يتكون من ثلاثة مرشحات أو مصافي (شكل ٦-١) وهي الإدراك و القياس و التحليل، وكلا منهم يؤثر أو يشوه بطريقة أو بآخري مستوي تعقيد العالم الحقيقي والطريقة التي يمكن أن نراه بعد تمثيله



شكل (٦-١) مفهوم عدم اليقين في نظم المعلومات الجغرافية

٦-٢ عدم اليقين في إدراك الظاهرات المكانية

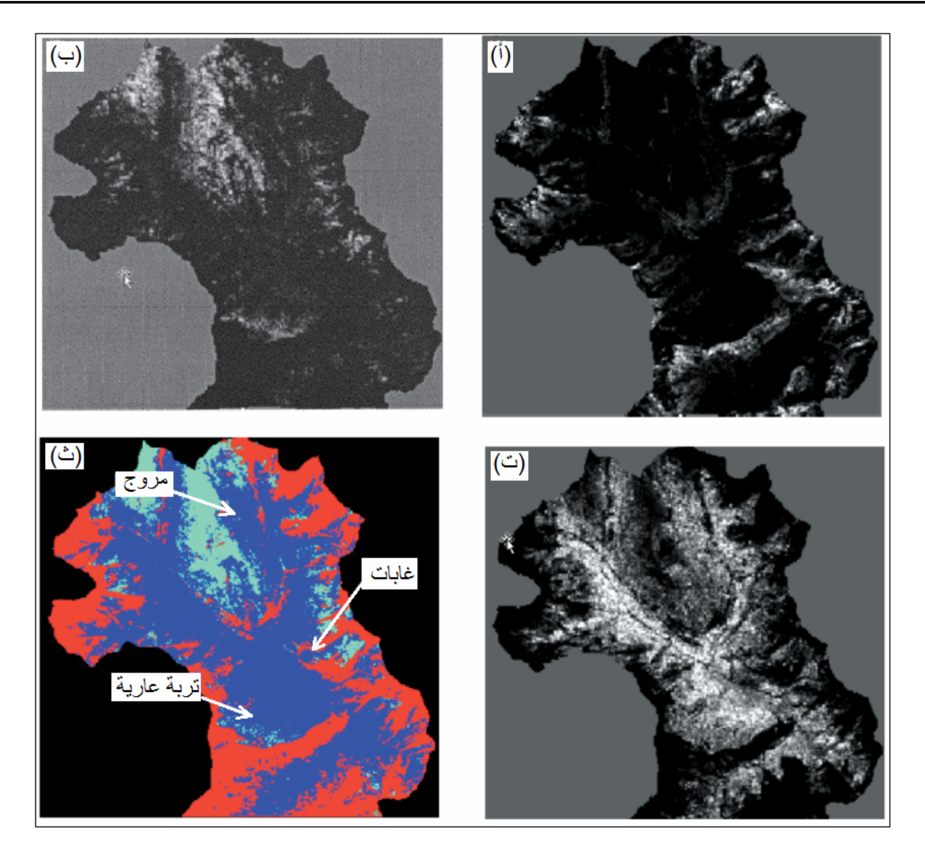
تختلف البيانات الجغرافية عن أي نوع آخر من البيانات بطريقة كبيرة كما رأينا حتى الآن في الفصول السابقة. فبعض الظاهرات الجغرافية لها امتداد مكاني extend من الصعب

تحديده بدقة، فمقلا ما هو الامتداد المكاني لتأثيرات البطالة؟ أو ما هو الامتداد المكاني لتجمع عدد من حالات الإصابة بمرض ما؟. أيضا توجد بعض الظاهرات التي من الصعب تحديد آثارها بدقة، فمثلا كيف يمكن تحديد جميع الآثار البيئية لتسرب الزيت من ناقلة نفط؟ أو كيف يمكن دراسة العلاقة بين المؤهلات البشرية للأفراد ومعدل البطالة؟. وبالتالي فهناك عدة حالات لا يمكننا فيها تحديد وحدات طبيعية natural units لاستخدامها في التحليل الجغرافي أو المكاني.

يأتي أول عناصر عدم اليقين في الإدراك (وهو الغموض vagueness) من عدم قدرتنا علي تحديد امتداد عنصر مكاني بدقة.فعلي سبيل المثال ففي الصور الجوية aerial photographs لا يمكننا التفرقة التامة بين العناصر المكانية الممثلة علي الصورة. في مثل هذه الحالة فنحن نقوم بخطوتين قد يحتملان عدم اليقين في كلا منهما: (١) تعيين حدود مكانية للظاهرة، (٢) إعطاء الظاهرة قيمة البيانات غير المكانية attribute. وبالتأكيد فأن عدم اليقين في هاتين الخطوتين سيؤثر علي التحليل الإحصائي للبيانات وأيضا علي طريقة التمثيل الرقمي لهذه الظاهرات.

في بعض الحالات يوجد التباس ambiguity في تعريف بعض البيانات غير المكانية للظاهرات الجغرافية حيث تختلف التعريفات اللغوية الشائعة لنفس المصطلح من منطقة إلي أخري. فعلي سبيل المثال فأن كلمة "سمسار أراضي" في أمريكا هي realtor بينما هي في انجلترا estate-agent. وأيضا فأن أسماء المواقع المكانية أو المدن قد تتغير مع مرور الزمن، مما قد يسبب مشكلة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التاريخية historical GIS. وقد يحدث الالتباس أيضا من المؤشرات التي قد نستخدمها للدلالة علي تأثير ظاهرة جغرافية معينة، فالمؤشرات indicators قد تكون مباشرة أو غير مباشرة. فعلي سبيل المثال فأن قيمة دخل الأسرة هو مؤشر مباشر علي مستوي الإنفاق ومن ثم مستوي الخدمات في بقعة معينة، بينما يمكن استخدام "معدل امتلاك أكثر من سيارة" كمؤشر غير مباشر في حالة عدم الوصول لقيم الدخل في حد ذاتها. وبناءا علي كيفية فهمنا و تقييمنا لهذه المعدلات فقد يحدث الالتباس ومن ثم عدم اليقين. أما في الظاهرات الطبيعية فقد يحدث الالتباس أيضا من اختلاف تعريف أنواع نفس الظاهرات المكانية. فعلي سبيل المثال فهناك ستة جهات حكومية في أمريكا تنتج خرائط استخدامات الأراضي، ولكل جهة منهم تصنيف مختلف لأنواع وأقسام الأراضي الرطبة wetland ومن ثم فقد يحدث التباس عند استخدام خرائط من أكثر من جهة من هذه الجهات في إنشاء نظم معلومات جغرافية.

تتمثل أحد طرق التغلب علي مشاكل عدم اليقين في ما يعرف باسم "التفسير المرجح". فعلي سبيل المثال فأن تحديد نوع المحصول في أحد الحقول الظاهرة علي مرئية فضائية قد يحتمل نوعين من المحاصيل، لكننا سنعتمد علي اختيار التحديد الأكثر احتمالا. فعندما نقول أن هذا الحقل قد يكون حقل قمح بنسبة ٨٠% وقد يكون حقل شعير بنسبة ٢٠%، فالاحتمال الأكثر قبولا هو القمح. وبهذا الأسلوب فنحن نتجه لاستخدام معني جديد وهو ما يسمي المنطق الضبابي fuzzy logic خلافا للأسلوب التقليدي المعروف باسم المنطق الثابت أو المحدد. ففي المنطق الضبابي نتخيل أن لدينا مقياس لعدم اليقين يتراوح بين الصفر و الواحد، فكلما كنا متيقنين تماما كان هذا المقياس يقترب من ١ (مثلا ٠.٩٩) وكلما زاد عد اليقين أو الشك كلما أقترب المقياس من الصفر. وبمعني آخر فأن المنطق الضبابي يدل علي وجود "درجة نسبية" لمدي انتماء عنصر لمجموعة محددة. ومن أهم مميزات أسلوب المنطق الضبابي أنه يتيح لنا التعامل مع مجموعات البيانات التي لا يمكن بدقة تحديدها أو الفصل بين حدودها. وهناك العديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية التي تستفيد من المنطق الضبابي مثل استخدامات الأراضي، أنواع التربة، أنواع غطاءات الأرض، أنواع النباتات .. الخ. ويقدم الشكل (٦-٢) مثالا لتطبيق المنطق الضبابي في تصنيف المجموعات، وقد تم التطبيق علي مرئية فضائية مع الأخذ في الاعتبار آراء خبراء تفسير المرئيات كمدخلات input للعملية. ففي الشكل (أ) تم عمل مجموعات المنطق الضبابي للتربة العارية، حيث نجد القيم الكبيرة للمقياس (الداكنة في الشكل) في المناطق المفصلية حيث تمنع التجمعات الجليدية من ظهور النباتات. وفي الشكل (ب) تم عمل مجموعات الغابات حيث تظهر القيم الكبيرة للمقياس في مناطق الميول البسيطة والمتوسطة حيث تكون التربة ثابتة و جيدة التصريف. أما الشكل (ت) فيوضح مجموعات المروج حيث القيم العالية للمقياس في الميول الناعمة عند المناسيب العالية حيث المياه الزائدة ودرجات الحرارة المنخفضة التي تمنع نمو الأشجار. وفي الشكل (ث) تم استنباط خريطة التوزيع المكاني بناءا علي الأشكال الثلاثة السابقة.



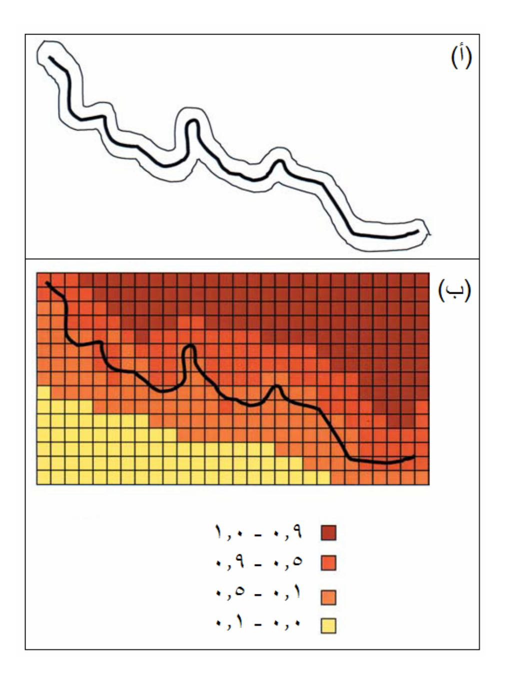
شكل (٦-٢) مثال لتطبيق المنطق الضبابي

٦-٣ عدم اليقين فى قياس و تمثيل الظاهرات المكانية

٦-٣-١ عدم اليقين فى تمثيل الظاهرات المكانية

يتمثل المرشح الثاني الذي يؤثر علي الفرق بين العالم الحقيقي والتمثيل الجغرافي (أنظر شكل ٦-١) في عدم اليقين الذي من الممكن حدوثه في عمليات القياس و التمثيل لظاهرات الواقع الحقيقي. ويظهر هذا التأثير في كلا طريقتي التمثيل سواء طريقة البيانات الخطية vector أو طريقة البيانات الشبكية raster. ففي البيانات الخطية (تمثيل الأهداف المنفصلة) فيوجد عدم يقين في كيفية استخراج الظاهرات الحقيقية. يوضح هذا الشكل (٦-٣) حيث نري خط الشاطئ ممثلا علي خريطة بمقياس رسم ١: ٢٠٠٠٠٠٠٠. وبالطبع فأن مقياس رسم هذه الخريطة يمثل تعميما كبيرا للظاهرة الجغرافية، حيث يكون خط الشاطئ ممثلا بمجموعة من الخطوط المستقيمة بحيث لا يمكن استخراج الواقع الحقيقي لخط الشاطئ خاصة في مناطق التعرجات الشديدة. وفي مثل هذه الحالة من الممكن أن نغير طريقة التمثيل من الخط إلي المساحة، بحيث يمكننا رسم مساحة قد تحتوي خط الشاطئ الحقيقي (الشكل أ). أيضا من الممكن أن نغير طريقة التمثيل ذاتها من التمثيل الخطي إلي التمثيل الشبكي باستخدام طريقة المنطق

الضبابي حيث يكون المقياس معبرا عن احتمالية أن تكون الخلية pixel عبارة عن أرض (الشكل ب).



شكل (٦-٣) مثال لعدم اليقين في تمثيل الظاهرات المكانية

بالمثل فهناك درجة من عدم اليقين في البيانات الشبكية raster أيضا، فالحدود بين المجموعات المختلفة ليست حدودا قاطعة. فعلي سبيل المثال في مرئيات الاستشعار عن بعد لا يمكن بدقة عالية تحديد نوع الخلية (البكسل) التي تقع بين مجموعتين مختلفتين من مجموعات استخدام الأراضي. وهذا - أحيانا - يدعونا لاستخدام مصطلح mixel (وليس pixel) أي خلية متعددة، وهي الخلية التي قد يوجد بها نوعين من مكونات المجموعة. وبالطبع فأن عدد هذه الخلايا المشتركة سوف يتناقص كلما زادت قدرة التوضيح المكاني resolution للمرئية الفضائية ذاتها. لكن تجدر الإشارة إلي أنه مهما زادت قدرة التوضيح المكاني فسيوجد عددا - مهما كان صغيرا - من هذه الخلايا المشتركة، مع أن المرئيات ذات قدرة التوضيح المكاني العالية (البكسل الأصغر من ١٠×١٠ متر) تكون أيضا كثيرة النطاقات (من ٧ إلي ٢٥٦ نطاق band).

يمدنا علم الإحصاء بطرق كثيرة لوصف الأخطاء في كلا من القياسات measurements والأرصاد observations، وبالطبع فأن هذه الطرق الإحصائية من الممكن تطبيقها في نظم المعلومات الجغرافية عندما نفكر في البيانات الجغرافية (سواء البيانات المكانية أو البيانات غير المكانية) علي أنها مجموعة من القياسات. فنموذج الارتفاعات الرقمية ما هو إلا مجموعة من قياسات الارتفاعات لنقاط علي سطح الأرض، وخريطة استخدامات

الأراضي ما هي إلا (بصورة أو بآخري) مجموعة من الأرصاد لمظاهر سطح الأرض حيث أننا نحدد نوع معين من الاستخدامات لكل موقع. لنأخذ مثال لعدد ٥ من أنواع استخدامات الأراضي في منطقة محددة (لنسميهم A, B, C, D, E علي سبيل المثال). من الممكن أن نرصد في الموقع قطعة أرض يكون لها استخدام من النوع A لكن قد نسجله بالخطأ في قاعدة البيانات الرقمية علي أنه من النوع C مثلا. ومن ثم فيكون هناك عدم يقين uncertainty في التمثيل الجغرافي الرقمي. الجدول التالي يمثل ما نطلق عليه اسم "مصفوفة التشويش confusion matrix" وهي أسلوب مطبق في تحليل تصنيف المرئيات الفضائية، حيث لكل قطعة تصنيف حقيقي ناتج من الدراسة الميدانية (أكثر دقة لكن أكثر تكلفة أيضا) و تصنيف آخر ناتج من تحليل المرئية أو الصورة الجوية. في هذه المصفوفة فأن السطور تمثل أنواع استخدامات الأراضي الممثلة في قاعدة البيانات الرقمية، بينما الأعمدة تمثل أنواع استخدامات الأراضي كما تم تسجيلها في الطبيعة. أما الأرقام التي تظهر في قطر المصفوفة (المظلل) فتمثل عدد التوافق (في نوع الاستخدام) ما بين الدراسة الميدانية و قاعدة البيانات في هذه المنطقة الجغرافية التي تحتوي ٣٠٤ قطعة أرض.

النوع	A	B	C	D	E	المجموع
A	٨٠	٤	٠	١٥	٧	١٠٦
B	٢	١٧	٠	٩	٢	٣٠
C	١٢	٥	٩	٤	٨	٣٨
D	٧	٨	٠	٦٥	٠	٨٠
E	٣	٢	١	٦	٣٨	٥٠
المجموع	١٠٤	٣٦	١٠	٩٩	٥٥	٣٠٤

فإذا أخذنا مثال للسطر A في المصفوفة فهو يدل علي ١٠٦ قطعة أرض تم تسجيلها في قاعدة البيانات علي أنها من هذا النوع من استخدامات الأراضي، ومن هذه القطه يوجد ٨٠ قطعة فقط متوافقين تماما مع نتائج الدراسة الحقلية (أي أنهم فعلا من النوع A)، بينما يوجد ٤ و ٠ و ١٥ و ٧ قطع تم تسجيلهم - في قاعدة البيانات - علي أنهم من الأنواع B و C و D و E بالترتيب. أي أن هناك ٨٠ قطعة (الرقم علي قطر المصفوفة) يمثلوا عدد القطع الصحيحة في التصنيف (بنسبة = ١٠٦/٨٠= ٧٥.٥%) بينما مجموع باقي الصف (٤+٠+١٥+٧=٢٨) يمثل عدد القطع التي لها تمثيل خطأ (بنسبة = ١٠٦/٢٨=٢٦.٤%).

الآن سننظر للمصفوفة (أو الجدول) ككل وليس عنصر بعنصر، ونجد أن مجموع عناصر القطر (٢٠٩) عند قسمته علي المجموع الكلي لقطع الأراضي (٣٠٤) يمثل ما نطلق

عليه مصطلح "نسبة التصنيف الصحيح Percent of Correctly Classified" أو اختصارا PCC ، وهو في هذا المثال = ٢٠٩ / ٣٠٤ = ٦٨.٨%. لكن هذا المؤشر غير دقيق من وجهة النظر الإحصائية، وسنستعيض عنه بمؤشر إحصائي أدق وهو ما يعرف باسم "مؤشر كابا kappa index" ويتم حسابه بالمعادلة التالية:

$$k = \sum_{i=1}^{n} c_{ij} - \sum_{i=1}^{n} c_{i.}\, c_{..i} / c_{..} \Big/ c_{..} - \sum_{i=1}^{n} c_{i.}\, c_{.i} / c_{..} \qquad (6\text{-}1)$$

حيث: c_{ij} يمثل العنصر في الصف i والعمود j، ورمز النقطة (أو dot) يمثل المجموع أي أن $c_{i.}$ يمثل مجموع كل الأعمدة في الصف i، بينما الرمز $c_{..}$ يمثل المجموع الكلي، و n تمثل عدد الفئات. وبتطبيق المعادلة (٦-١) علي المثال السابق نجد أن قيمة مؤشر كابا = ٥٨.٣% وهي قيمة أدق من مؤشر نسبة التصنيف الصحيح PCC.

يمكننا الآن التوصل لنتيجة أن مصفوفة التشويش تعد طريقة فعالة للحكم علي أخطاء القياسات والأرصاد، لكن لتكوينها يلزمنا معلومات حقلية دقيقة. وبالطبع فمن وجهة النظر الاقتصادية فلا يمكننا إجراء الدراسة الحقلية علي كل قطع الأراضي في بقعة جغرافية معينة، لكننا نستعيض عن ذلك بإجراء الدراسة الحقلية في عينة عشوائية من قطع الأراضي في هذه البقعة.

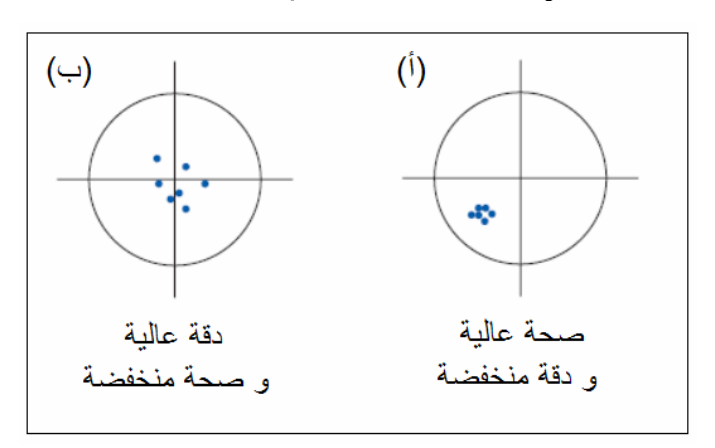
تجدر الإشارة لوجود تطبيقات أكثر تعقيدا من مثال استخدامات الأراضي الذي كان يعتمد علي تحديد دقة المضلعات per-polygon accuracy assessment (مضلع بمضلع أو قطعة بقطعة). فمثلا في تصنيف أنواع الغطاء النباتي قد نواجه مشكلة أن كل قطعة بها أكثر من نوع (وليس نوع واحد) من أنواع الغطاءات. ففي هذه الحالة لا يمكن بدقة كبيرة تحديد الحدود المكانية لكل نوع ويكون لدينا مصدر آخر من عدم الدقة وهو خطأ الحدود boundary misallocation بالإضافة لخطأ نوع التصنيف class misallocation ذاته. وغالبا في مثل هذه الحالات نلجأ لطريقة التحليل المعتمدة علي خلية بخلية (بكسل ثم الآخر) per-pixel accuracy assessment بدلا من التحليل مضلع بمضلع.

٦-٣-٢ عدم اليقين في قياس الظاهرات المكانية

إن أية قياسات تتم علي سطح الأرض تخضع لأخطاء طبيعية في عملية القياس ذاتها (سواء أخطاء للأجهزة المستخدمة أو أخطاء للراصد أو تأثيرات طبيعية أثناء عملية القياس). فإذا كانت القيمة المرصودة 'x فهي تساوي القيمة الحقيقية x مضافا إليها خطأ أو تشوه δx، حيث هذا الخطأ قد يكون موجبا أو سالبا. فإذا كان لدينا مجموعة من القياسات المتكررة وكان

الخطأ أو التشوه المتوسط مساويا للصفر (أي أن الأخطاء الموجبة و السالبة تلغي إحداهما الأخرى) فنقول أن متوسط هذه القياسات "عادل أو غير مشوه unbiased" مما يجعل قيمة متوسط القياسات تكون حقيقية.

من الجدير هنا أن نفرق بين مصطلحين: الدقة accuracy والصحة precision. بصفة عامة فأن الصحة هي مدي تقارب القياسات المتكررة (لنفس القيمة المقاسة) من بعضها البعض في القيمة. وبمعني آخر فكلما كانت الفروق بين القياسات المتكررة فروقا بسيطة كلما قلنا أن هذه القياسات صحيحة precise. لكن قد تكون القياسات صحيحة (متقاربة في القيمة) لكنها في نفس الوقت بعيدة عن القيمة الحقيقية، وبالتالي فهي صحيحة لكن غير دقيقة. فكما نري في الشكل التالي (أ) فان القياسات قريبة جدا من بعضها، أي أنها عالية الصحة لكنها في نفس الوقت غير دقيقة لكونها بعيدة عن القيمة الحقيقية precise but inaccurate. أما في الشكل (ب) فأن القياسات متفرقة لحد ما (غير صحيحة) لكنها عالية الدقة حيث أنها قريبة من القيمة الحقيقية low precision but high accuracy.



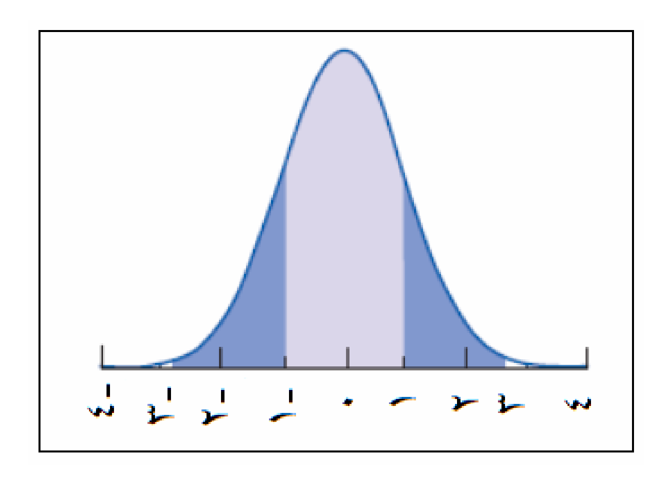
شكل (٦-٤) الفرق بين الدقة و الصحة

يمكن حساب قيمة "الخطأ التربيعي المتوسط Root Mean Square Error" -أو اختصارا RMSE - بقسمة مجموع مربعات الأخطاء علي عدد الأرصاد وحساب الجذر التربيعي للناتج:

$$(\sum \delta x^2 / n)^{1/2} \quad (6\text{-}2)$$

ومن الممكن اعتبار الخطأ التربيعي المتوسط علي أنه "تقريبا" يساوي القيمة المتوسطة للخطأ في كل قياس من مجموعة القياسات المتكررة. فعلي سبيل المثال فأن هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية تنشر قيمة RMSE لنماذج الارتفاعات الرقمية التي تطورها علي أنه مؤشر لدقة أي ارتفاع مستنبط من النموذج.

من المهم أن نعرف أيضا كيفية توزيع الأخطاء (وليس فقط قيمتها المتوسطة)، وهنا يمدنا علم الإحصاء بعدة نماذج لتوزيع الأخطاء وأشهرهم توزيع جاوس Gaussian distribution والمعروف أيضا باسم منحني الجرس bell curve (لأن شكله يشبه شكل الجرس) أو منحني التوزيع الطبيعي normal distribution (الشكل ٦-٥). فإذا كانت الأرصاد عادلة أو غير مشوهه unbiased فأن الخطأ المتوسط سيكون صفر. وسيكون ٦٨% من الأخطاء واقعة في الفترة ما بين الانحراف المعياري الموجب و الانحراف المعياري السالب (لاحظ أن الانحراف المعياري هو الخطأ التربيعي المتوسط للعينة). بالمثل فأن ٩٥% من الأخطاء ستقع ما بين الفترة ضعف الانحراف المعياري الموجب و السالب، بينما ستقع ٩٩% من الأخطاء في الفترة مابين ثلاثة أضعاف الانحراف المعياري الموجب و السالب. فإذا أخذنا مثال لنموذج ارتفاعات رقمية يبلغ الخطأ التربيعي المتوسط له ٧ أمتار، فأن ٦٨% من الأخطاء ستكون في حدود -٧ و +٧ متر، بينما ٩٥% من الأخطاء ستكون في حدود -١٤ و +١٤ متر، وهكذا.



شكل (٦-٥) منحنى التوزيع الطبيعي أو توزيع جاوس

في الخرائط الورقية يعبر "بصفة عامة" عن مدي دقة الخريطة (أي مدي دقة الإحداثيات الأفقية المستنبطة لأي هدف أو ظاهرة من هذه الخريطة) بما يعادل ما يمثله ٠.٥ ملليمتر في الطبيعة طبقا لمقياس رسم الخريطة. فعلي سبيل المثال فأن دقة خريطة بمقياس رسم ١ : ٢٥٠٠ تساوي ٠.٥ ملليمتر مضروبا في مقياس رسم الخريطة ، أي تساوي ١.٢٥ متر. والجدول التالي يقدم دقة الخرائط الورقية طبقا لهذه القاعدة، مع العلم بأن بعض الجهات العالمية المنتجة للخرائط قد تحدد مواصفات مختلفة للدقة في خرائطها.

مقياس الرسم	المسافة الأفقية التي يساويها ٠.٥ ملليمتر علي الخريطة (مؤشر لدقة الخريطة)
١ : ١٢٥٠	٠.٦٢٥ متر
١ : ٢٥٠٠	١.٢٥ متر
١ : ٥٠٠٠	٢.٥ متر
١ : ١٠،٠٠٠	٥ متر
١ : ٢٤،٠٠٠	١٢ متر
١ : ٥٠،٠٠٠	٢٥ متر
١ : ١٠٠،٠٠٠	٥٠ متر
١ : ٢٥٠،٠٠٠	١٢٥ متر
١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	٥٠٠ متر
١ : ١٠،٠٠٠،٠٠٠	٥٠٠٠ متر

٦-٤ عدم اليقين في تحليل الظاهرات المكانية

رأينا في الجزأين السابقين أن هناك عدم يقين في إدراك و قياس و تمثيل الظاهرات الجغرافية، ومن ثم فمن المنطقي أن يكون هناك أيضا عدم يقين في التحليل المكاني لهذه الظاهرات بما أن هذا التحليل مبني أساسا علي الإدراك و القياسات والتمثيل الجغرافي. إلا أن علم نظم المعلومات الجغرافية يقدم لنا حلولا علمية للتعامل مع عدم اليقين قبل و أثناء التحليل المكاني. فكما رأينا أن هناك طرق علمية و إحصائية لتقدير قيمة أخطاء القياس في المعلومات الجغرافية، كما أن هناك نماذج لتمثيل الارتباط المكاني بين الظاهرات مما يسمح لنا بوضع قيود علي تأثير الأخطاء المتوقعة سواء في الإدراك أو القياس و التمثيل، وهذا ما نطلق عليه اسم "التحقيق الداخلي internal validation". أيضا فأن من أبرز مميزات نظم المعلومات الجغرافية قدرتها علي دمج عدة أنواع من البيانات، مما يسمح لنا بعمل ما يسمي "التحقيق الخارجي external validation" بمقارنة عدة مصادر من قواعد البيانات مختلفة الدقة. وسنتناول بالشرح تفاصيل طرق التحليل المكاني و خصائصها في فصول قادمة.

الباب الثالث: التقنيات

Techniques

الفصل السابع: برامج نظم المعلومات الجغرافية

GIS Software

الفصل الثامن: نمذجة البيانات الجغرافية

Geographic Data Modeling

الفصل التاسع: تجميع بيانات نظم المعلومات الجغرافية

GIS Data Collection

الفصل العاشر: إنشاء و صيانة قواعد البيانات الجغرافية

Creating and Maintaining Geographic Databases

الفصل الحادي عشر: نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية

Distributed GIS

الفصل السابع

برامج نظم المعلومات الجغرافية

٧-١ مقدمة

ذكرنا في الفصل الأول (١-٥ والشكل ١-٣) أن نظام المعلومات الجغرافي يتكون من ستة أقسام رئيسية تشمل الأجهزة Hardware والبرامج Software و البيانات Data و الأفراد People والخطوات Procedures والشبكة Network. وتعد البرامج هي محرك التشغيل الأساسي لنظام المعلومات الجغرافي، وفي هذا الفصل سنتعرض لن نتعرض لحصر قدرات البرامج و إمكانياتها (سيكون ذلك في فصول أخري قادمة) إنما سنتناول كيفية تطبيق هذه القدرات في نظم المعلومات الجغرافية خاصة في كيفية تجميع و تخزين وتحليل البيانات.

بصفة عامة فان البرامج يتم توزيعها بعدة صور: (١) البرامج التجارية الجاهزة software وهي التي توزع علي اسطوانات الفيديو المدمجة DVD ويتكون كلا منها من مجموعة برامج - وليس برنامجا واحدا - وبرنامج بسيط للتحميل install وملفات للمساعدة help وبعض البيانات للتدريب، (٢) البرامج المتقاسمة shareware وهي التي يتم بيعها بعد فترة تجربة أولية للمستخدم، (٣)البرامج الخفيفة liteware وهي برامج متقاسمة لكن بقدرات محددة، (٤) البرامج المجانية freeware وهي برامج مجانية لكن مع قيود علي الاستخدام، (٥) برامج عامة public-domain software وهي برامج مجانية بدون أية قيود، (٦) برامج مفتوحة المصدر open-source software وهي برامج مجانية مع إتاحة مصدر البرنامج الأصلي source code للمستخدم لكي يمكنه تعديلها و تطويرها. وبالطبع فان شبكة الانترنت أصبحت حاليا الوسيط أو وسيلة النقل الأساسية لتوزيع البرامج.

٧-٢ تطور برامج نظم المعلومات الجغرافية

في الفترة الأولي لظهور نظم المعلومات الجغرافية كان البرنامج الواحد مكونا ببساطة من مجموعة من البرامج الفرعية routines التي يمكن لمستخدم ذو خبرة في البرمجة استخدامها لبناء برنامج تنفيذي. أيضا كانت هذه البرامج تختلف بشدة في إمكانياتها الفنية ومتطلبات تشغيلها. ومع نمو سوق برامج نظم المعلومات الجغرافية في السبعينات و الثمانينات من القرن العشرين الميلادي زاد الطلب علي برامج ذات إمكانيات اعلي و لها واجهة تنفيذية قياسية مختلفة عن طريقة كتابة الأوامر command line من خلال لوحة المفاتيح. ومن هنا بدا تطبيق واجهة المستخدم بالرسومات graphical user interface وذلك من خلال إنشاء

القوائم menus والأيقونات icons. أيضا بدأت البرامج تحتوي إمكانية البرمجة programming لكي يستطيع المستخدم إنشاء تطبيقات لاستخدامات خاصة specific-purposes لا تتوافر بالبرنامج الأساسي (وذلك من خلال لغات البرمجة مثل الجافا Java أو الفيجوال باسيك Visual Basic).

مع انتشار الاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية بدأ ظهور برامج مخصصة لتطبيقات محددة لتفي بمتطلبات هذا القطاع الواسع من المستخدمين المختلفين، فبدأ ظهور برامج معلومات التخطيط (Planning Information Systems)، وبرامج للخرائط الرقمية (Automated Mapping/Facility Management Systems)، وبرامج معلومات الأراضي والملكيات (Land Information Systems)، وبرامج معلومات الخدمات (Location-based Services Systems).

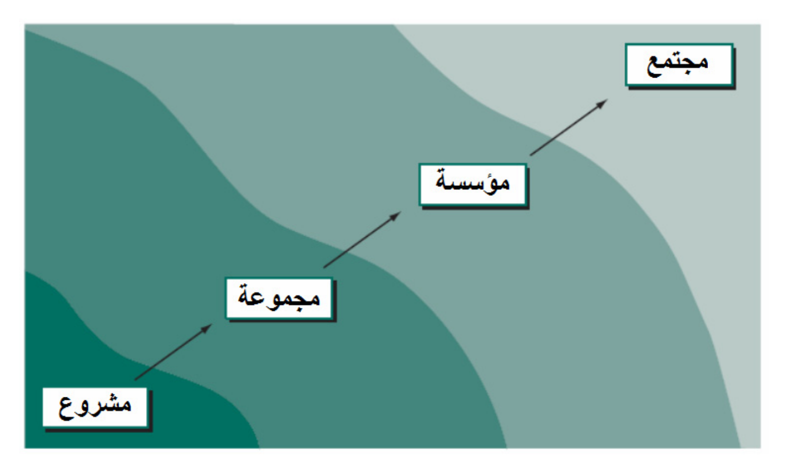
في السنوات القليلة الماضية بدا ظهور طريقة جديدة لتعامل البرامج مع مستخدميها وذلك من خلال شبكة الانترنت، وهو ما يعرف باسم بخدمات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت web-services. وتسمح هذه الطريقة الجديدة للمستخدمين بتطبيق أو تشغيل برنامج نظم معلومات جغرافية من خلال الانترنت وأيضا باستخدام قواعد البيانات المتاحة من خلال هذه الخدمة. فعلي سبيل المثال يمكن لمدير احدي الشركات الذي يريد تحديد انسب مكان لاختيار موقع فرع جديد للشركة أن يتعامل من خلال خدمات الانترنت مع قواعد بيانات السكان (المتاحة علي الانترنت) و أيضا مع أدوات نظم المعلومات الجغرافية الخاصة باختيار المواقع ليؤدي الوظيفة المطلوبة، وذلك دون أن تكون هذه الأدوات أو البرامج و قواعد البيانات موجودة بالفعل علي الكمبيوتر الخاص به (سيتم تناول هذه الخدمات بالتفصيل في فصل قادم).

٧-٣ أساليب بناء برامج نظم المعلومات الجغرافية

٧-٣-١ أنواع تطبيقات برامج نظم المعلومات الجغرافية

مع بدء دخول برامج نظم المعلومات الجغرافية في التطبيق داخل الجهات كانت النظرة الأساسية لاستخدام البرنامج هي كونه برنامج لمشروع محدد Project GIS حيث يتم جمع المعلومات و تخزينها وتحليلها لمشروع معين مهما طالت فترته الزمنية (الشكل ٧-١). وحتى في الجهات أو المؤسسات الكبيرة كان يتم استخدام البرنامج لعدة مشروعات بطريقة تعتمد علي هذه الفكرة الأولية، بمعني أن لكل مشروع قاعدة بيانات خاصة به بل وحتى أفراد مخصصين لكل مشروع. ومع انتشار الاعتماد علي برامج نظم المعلومات الجغرافية وبهدف خفض التكلفة الاقتصادية والتشجيع علي مشاركة البيانات بدأ النظر لبرامج نظم المعلومات الجغرافية علي

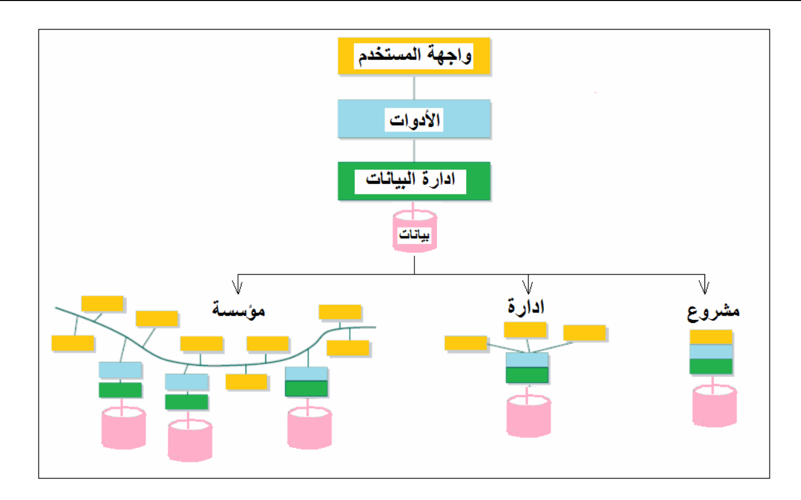
أنها يمكن استخدامها لعدة مشروعات داخل نفس الإدارة، ومن ثم ظهرت برامج الإدارة Departmental GIS. وتعتمد هذه النوعية من البرامج علي إمكانيات جديدة خاصة في مشاركة و إدارة قواعد البيانات. ثم كانت المرحلة الثالثة عندما زاد اعتماد المؤسسات الكبيرة علي برامج نظم المعلومات الجغرافية في عدد كبير من التطبيقات داخل نفس المؤسسة فظهرت البرامج المؤسسية Enterprise GIS. وتتيح هذه النوعية من البرامج مشاركة البيانات بين عدد من أقسام المؤسسة، وأيضا تقلل من تكلفة تحديث البرامج والبيانات، كما تتيح إدارة مركزية للموارد. أما المرحلة الرابعة فكانت في ظهور البرامج المجتمعية Societal GIS حيث يمكن لمئات - بل وحتى آلاف - من المستخدمين التعامل مع نظم المعلومات الجغرافية من خلال شبكات الكمبيوتر. فكمثال هناك نظام معلومات جغرافي لدولة قطر يضم ١٦ مؤسسة حكومية متصلين معا فيما يعرف باسم نظام معلومات جغرافي لدولة كاملة Nationwide GIS (مع الأخذ بالاعتبار صغر مساحة دولة قطر).



شكل (٧-١) أنواع تطبيقات برامج نظم المعلومات الجغرافية

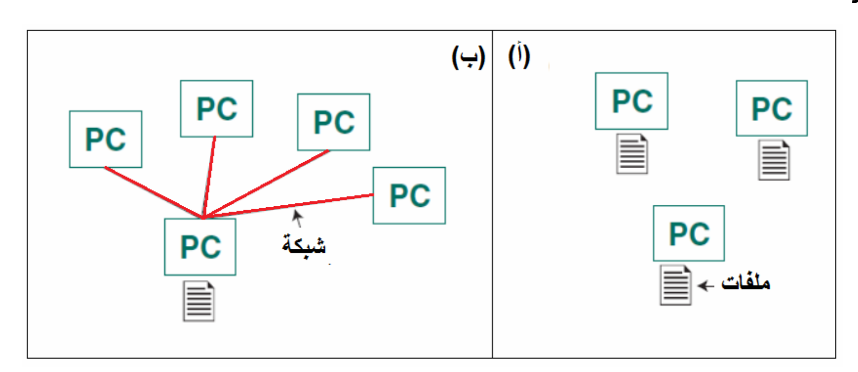
<u>٧-٣-٢ البناء الثلاثي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية</u>

من وجهة نظر برامج المعلومات فأن برنامج نظم المعلومات الجغرافية يتكون أساسا من ثلاثة مكونات وهي واجهة المستخدم user interface و الأدوات tools و نظام إدارة البيانات data management system (الشكل ٧-٢). تتكون واجهة المستخدم من مجموعة القوائم و الأيقونات وشرائط الأدوات التي تسمح للمستخدم بصورة رسومية بسيطة من التعامل مع أدوات البرنامج ذاته. أما الأدوات فهي التي تحدد إمكانيات برنامج نظم المعلومات الجغرافية في معالجة و تحليل البيانات. ثم يأتي نظام إدارة البيانات الذي يتحكم في طرق تخزين و معالجة وإدارة ملفات أو قواعد البيانات. وهذا التركيب البنائي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية معروف باسم البناء ثلاثي العجلات three-tire architecture.



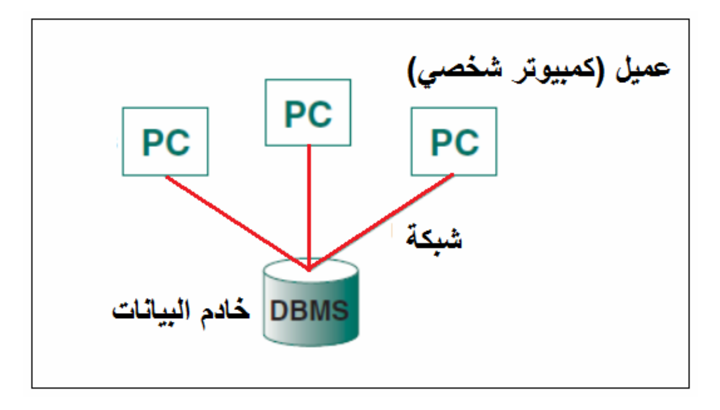
شكل (٧-٢) البناء التقليدي الثلاثي لبرنامج نظم معلومات جغرافية

ويتم تطبيق هذا البناء التركيبي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية في أربعة صور أو هيئات مختلفة: كمبيوتر شخصي desktop، و خادم لعميل client-server، كمبيوتر مركزي centralized desktop، و خادم مركزي centralized server. في الهيئة أو الصورة الأولي ((شكل ٧-٣ أ) تكون المكونات الثلاثة للتركيب البنائي للبرنامج موجودة في كمبيوتر واحد (غالبا كمبيوتر شخصي PC). ومن الممكن أيضا أن تكون ملفات البيانات مخزنة علي خادم كمبيوتر مركزي مع وجود أكثر من مستخدم متصلين معا من خلال شبكة (شكل ٧-٣ ب). وهاتين الصورتين يتم استخدامهما في البرامج المخصصة لمشروع محدد Project GIS.



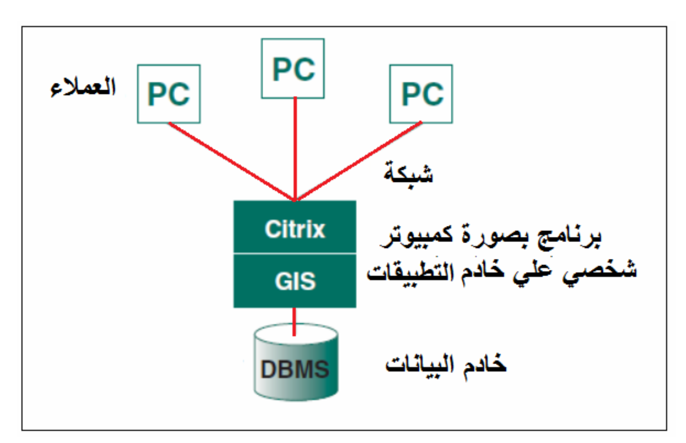
شكل (٧-٣) هيئة كمبيوتر شخصي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

يتم تطبيق الهيئة الثانية (خادم لعميل) في برامج الإدارات Departmental GIS حيث يوجد أكثر من مجموعة من مجموعات المستخدمين، وهنا يمكن لكل مستخدم في كل مجموعة أن يتعامل من خلال الكمبيوترات الشخصية والبرامج المحملة عليها، إلا أن ملفات البيانات ذاتها تكون مخزنة علي خادم مركزي متصل بالشبكة. وجاء اسم هذه الصورة "خادم لعميل" حيث أن كل مستخدم "عميل" يطلب من الخادم الحصول علي بيانات معينة أو يطلب أداء وظيفة معينة وعلي الخادم تنفيذ طلبات هؤلاء العملاء (شكل ٧-٤).

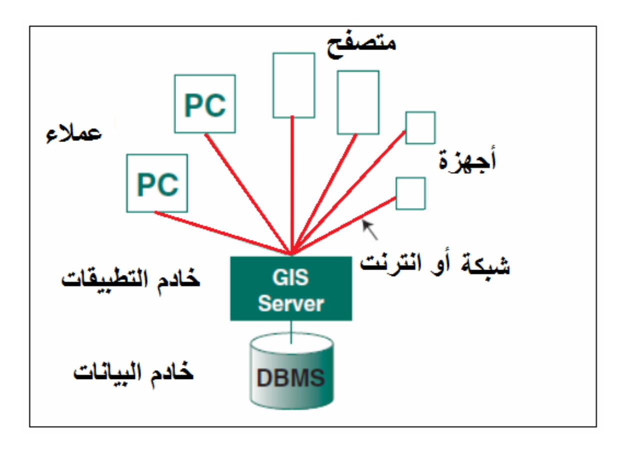


شكل (٧-٤) هيئة خادم لعميل لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

في هيئة الكمبيوتر المركزي (الشكل ٧-٥) يتم استضافة كلا من واجهة المستخدم و الأدوات في خادم مركزي يسمي خادم التطبيقات application server، وغالبا يكون ذلك في صورة برنامج نم معلومات جغرافية من نوع الكمبيوتر الشخصي Desktop GIS. لم يكون هناك برنامج آخر (مثل Citrix أو Window Terminal Server) محمل علي خادم التطبيقات ويهدف إلي أن يكون برنامج نظم المعلومات الجغرافية متاحا لجميع المستخدمين (العملاء) المتصلين بهذا الخادم من خلال إما شبكة لمنطقة صغيرة Local Area Network (LAN) أو شبكة لمنطقة كبيرة Wide Area Network (WAN). أيضا تكون ملفات و قواعد البيانات مخزنة علي خادم آخر يسمي خادم البيانات Data Server حيث يوجد برنامج معالجة و إدارة البيانات Data Base Management System (DBMS). أما هيئة الخادم المركزي (الشكل ٧-٦) ففيها يمكن أيضا السماح بدخول بعض الأجهزة أو متصفحات الانترنت علي خادم التطبيقات من خلال الشبكة المحلية أو شبكة الانترنت ذاتها. وهاتين الهيئتين أو الصورتين هي الأكثر شيوعا في برامج نظم المعلومات الجغرافية للمؤسسات Enterprise GIS.



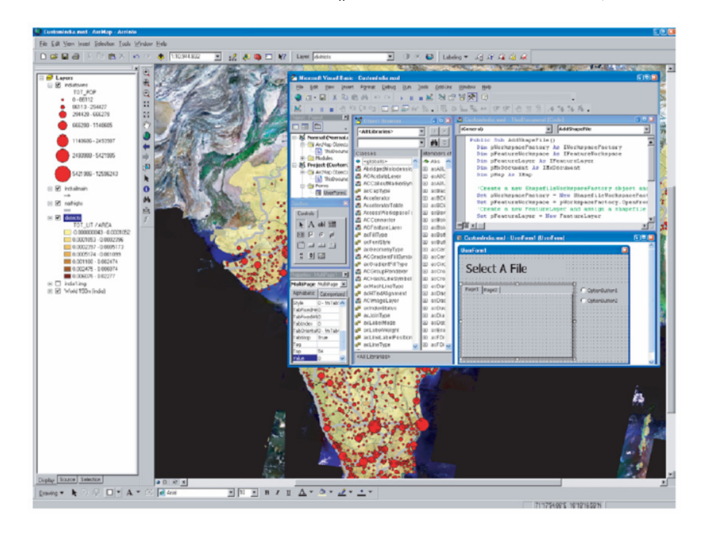
شكل (٧-٥) هيئة كمبيوتر مركزي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية



شكل (٧-٦) هيئة خادم مركزي لبرامج نظم المعلومات الجغرافية

٧-٣-٣ التخصيص في برامج نظم المعلومات الجغرافية

التخصيص customization هي عملية تعديل برنامج نظم معلومات جغرافي، مثل إضافة تطبيقات أو وظائف جديدة علي سبيل المثال. وبدأت هذه العملية في الظهور مع بداية التسعينات من القرن العشرين الميلادي حيث بدأت شركات البرامج تضم بعض إمكانيات التخصيص ليستخدمها العملاء من المطورين. وحاليا أصبحت عملية التخصيص موجودة في جميع البرامج خاصة باستخدام لغات البرمجة الشهيرة مثل الجافا و الفيجوال باسيك والبايثون Python التي يمكن للمستخدم تطبيقها في كتابة برامج تضيف إمكانيات أو وظائف جديدة لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية. والشكل (٧-٧) يعرض نموذج لنافذة البرمجة باستخدام الفيجوال باسيك داخل برنامج Arc GIS الشهير من هيئة الكمبيوتر الشخصي Desktop GIS. أما برامج نظم المعلومات الجغرافية من الهيئة المعتمدة علي الخوادم server-based GIS فالأشهر هو استخدام لغة الجافا أو لغة السي C.



شكل (٧-٧) إمكانيات التخصيص في برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS

٧-٤ منتجي برامج نظم المعلومات الجغرافية

من أمثلة الشركات المنتجة لبرامج نظم المعلومات الجغرافية ما يلي:

ايزري ESRI: تأسست في عام ١٩٦٩م (١٣٨٨ هـ) علي يد كلا من Jack and Luara Dangermond في ولاية كاليفورنيا الأمريكية. وهذه الشركة تخدم أكثر من مليون عميل علي مستوي العالم ويزيد دخلها السنوي علي نصف المليار دولار. وتركز ايزري علي إنتاج برامج نظم المعلومات الجغرافية بصفة أساسية، إلا أنها أيضا تعمل في مجال تقديم الخدمات الاستشارية لعملائها. وتنتج ايزري عائلة متكاملة من البرامج تحت اسم Arc GIS والتي يمكن استخدامها في الأجهزة المحمولة يدويا والكمبيوترات الشخصية و الخوادم.

انترجراف Intergraph: تأسست أيضا في نفس العام ١٩٦٩م كشركة خاصة - في ولاية ألاباما الأمريكية - تركز علي برامج الرسومات بالكمبيوتر. وتتكون انترجراف من أربعة أقسام أحدهما (قسم الحلول المكانية Geospatial Solutions) هو المختص ببرامج نظم المعلومات الجغرافية. وتنتج انترجراف برنامج جيوميديا GeoMedia و الذي يمكن تطبيقه علي الكمبيوترات الشخصية و الخوادم أيضا.

أوتوديسك Autodesk: اشتهرت شركة أوتوديسك علي مستوي العالم ببرنامجها الشهير AutoCAD للتصميم الهندسي باستخدام الكمبيوتر، والذي يزيد عدد مستخدميه علي الأربعة ملايين. وللشركة ثلاثة منتجات لنظم المعلومات الجغرافية أحدهم Auto Map 3D يعمل علي الكمبيوتر الشخصي، والثاني Map Guide مخصص للانترنت، والثالث OnSite يعمل علي الأجهزة المحمولة يدويا.

جي اي للطاقة GE Energy: تختلف هذه الشركة البريطانية عن سابقيها في أن برامجها تركز علي مجال تطبيقات تصميم و إدارة و تشغيل شبكات الخدمات العامة خاصة شبكات الكهرباء والغاز. وتنتج هذه الشركة برنامج Small world الممكن تطبيقه علي الكمبيوترات الشخصية و الخوادم.

وهناك جهات أخري تنتج برامج تضم إمكانيات نظم المعلومات الجغرافية و الاستشعار عن بعد معا، مثل شركة PCI Geomatics وجامعة كلارك المطورة لبرنامج IDRISI وشركة Leica Geosystems المطورة لبرنامج Erdas Imagine.

٧-٥ أنواع برامج نظم المعلومات الجغرافية

يوجد ما يقارب المائة برنامج تجاري تدعي أن بها إمكانيات للخرائط و نظم المعلومات الجغرافية. ويمكن بصفة عامة تقسيم أنواع البرامج إلي أربعة أنواع: برامج مكتبية، برامج للخادم، برامج تطويرية، وبرامج محمولة يدويا، بالإضافة لبرامج أخري (الشكل ٧-٨).

٧-٥-١ البرامج المكتبية

تعد برامج نظم المعلومات الجغرافية المخصصة للكمبيوتر الشخصي Desktop GIS النوع الرئيسي من أنواع البرامج التي تعمل - غالبا - تحت نظم التشغيل ويندوز. فهذه النوعية من البرامج تقدم للمستخدم أدوات إنتاجية شخصية في نطاق واسع من التطبيقات و التخصصات، وخاصة مع رخص سعر أجهزة الكمبيوتر الشخصية PC. وتغطي هذه البرامج نطاق واسع من الاختيارات و الإمكانيات تتراوح ما بين برامج بسيطة لعرض المعلومات الجغرافية (مثل برامج Arc Reader, GeoMedia Viewer) إلي برامج بإمكانيات متوسطة (مثل برامج AutoCAD Map 3D, Arc View, GeoMedia) إلي البرامج ذات الإمكانيات العالية للمحترفين (مثل برامج Arc Info, MapInfo Professional, GeoMedia Professional). أما عن أسعار برامج الكمبيوتر الشخصي فهي تتراوح بين ١٠٠-٢٠٠٠ دولار للبرامج المتوسطة الإمكانيات و ٧٠٠٠-٢٠,٠٠٠ دولار للبرامج الاحترافية.

٧-٥-٢ برامج الخادم

من المتوقع أن يزداد الاعتماد في السنوات القادمة علي برامج الخادم Server GIS لنظم المعلومات الجغرافية. وتعتمد هذه النوعية علي وجود البرنامج محملا علي كمبيوتر مركزي يمكنه خدمه عدد كبير من العملاء المتصلين علي الشبكة. ومن أهم مميزات هذه البرامج تكلفتها الاقتصادية القليلة مع التمتع بالإمكانيات التقنية الهائلة لأجهزة الكمبيوتر الخادم. ومن أمثلة برامج الخادم: ArcGIS Server, GeoMedia Webmap, MapInfo MapXtreme. وتتراوح أسعار برامج نظم المعلومات الجغرافية للخوادم بين ٥٠٠٠-٢٥،٠٠٠ دولار.

٧-٥-٣ البرامج التطويرية

تتمتع هذه النوعية من برامج نظم المعلومات الجغرافية Developer GIS بأنها تقدم أدوات تطويرية للمستخدمين المحترفين (ذوي الخبرة في البرمجة) لتمكنهم من تطوير تطبيقات أو أدوات جديدة. ومن أمثلة هذه البرامج ArcGIS Engine, GeoObjects, Blue

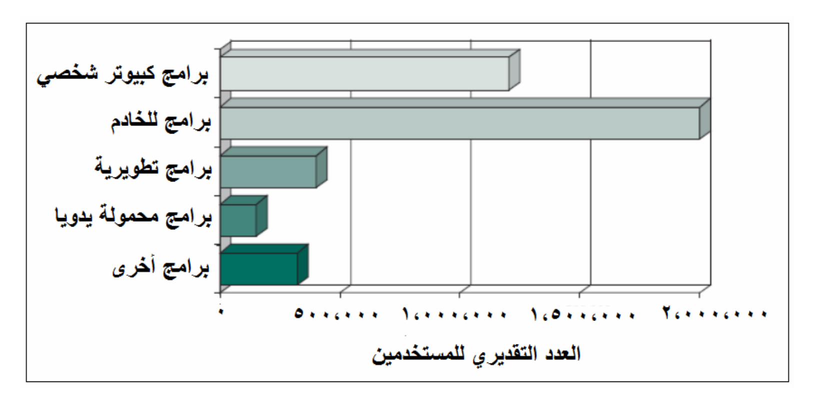
Marble Geographics. وغالبا فأن سعر منتج التطوير في برامج نظم المعلومات الجغرافية يتراوح بين ١٠٠٠-٥٠٠٠ دولار.

٧-٥-٤ البرامج المحمولة يدويا

حديثا تم تطوير برامج نظم معلومات جغرافية يمكنها العمل مع الأجهزة المحمولة يدويا Hand-Held GIS وخاصة لخلق التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية و تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع GPS وأيضا أجهزة الجوالات (الموبايل) الذكية smart phones. وبالرغم من صغر حجم هذه الأجهزة المحمولة يدويا فأن إمكانيتها التقنية كبيرة مما يسمح لها بالتعامل مع حجم كبير من البيانات. ومن أمثلة هذه النوعية من البرامج Arc Pad, Autodesk OnSite, Intelliwhere. وتتراوح أسعار البرامج المحمولة يدويا بين ٤٠٠-٦٠٠ دولار.

٧-٥-٥ برامج أخرى

توجد أيضا نوعيات أخرى من البرامج التي تقدم "إمكانيات" لنظم المعلومات الجغرافية. فمثلا توجد برامج من الممكن أن نطلق عليها اسم البرامج الشبكية raster-based GIS والتي تعتمد في الأساس علي توفير إمكانيات تقنية عالية لتحليل الملفات الشبكية raster، وان كانت لا تخلو من بعض إمكانيات التعامل مع الملفات الخطية vector أيضا. ومن أمثلة هذه البرامج Erdas Imagine, Idrisi. وتتراوح أسعار هذه النوعية من البرامج بين ٥٠٠-١٠،٠٠٠ دولار. أيضا توجد نوعية أخرى من البرامج تسمي برامج التصميم المعتمد علي الكمبيوتر Computer-Aided Design (CAD) وهي واسعة الانتشار بين المهندسين و المخططين. ويمكن النظر لهذه البرامج علي أنها بصورة أو بآخري برامج لنظم المعلومات الجغرافية، مع أن إمكانياتها في تحليل البيانات قد تكون بسيطة. ومن أمثلة هذه البرامج AutoCAD Map 3D, GeoGraphics. وتتراوح أسعار هذه النوعية من البرامج بين ٣٠٠٠-٥٠٠٠ دولار.



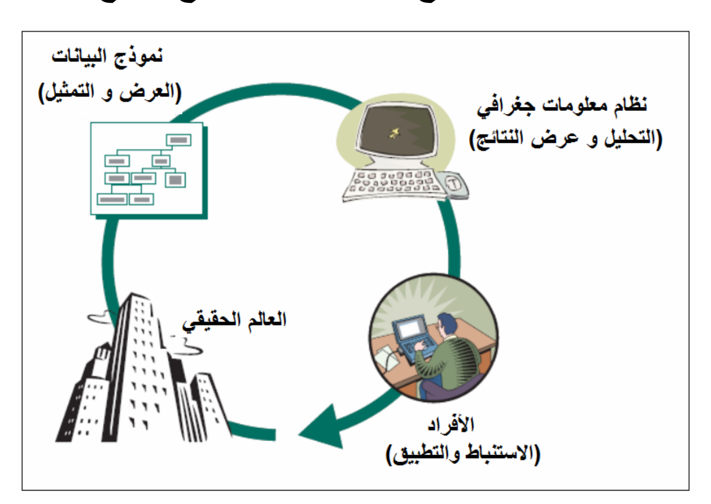
شكل (٧-٨) أنواع برامج نظم المعلومات الجغرافية

الفصل الثامن

نمذجة البيانات الجغرافية

٨-١ مقدمة

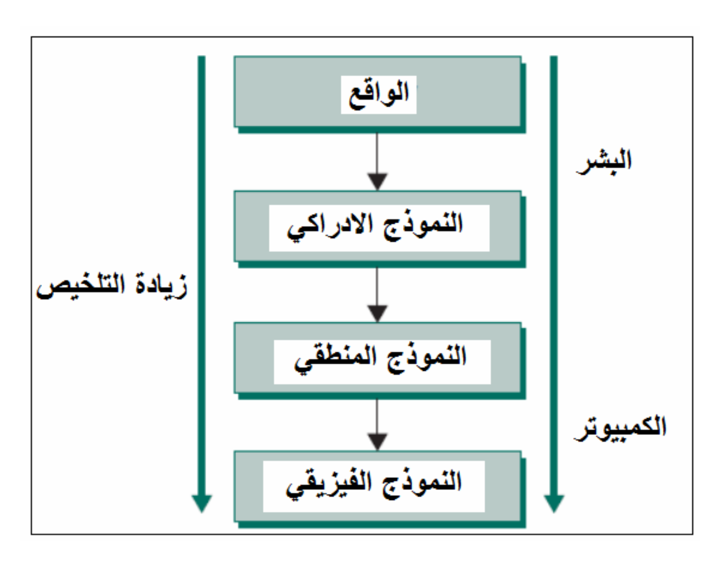
نمذجة البيانات الجغرافية هي عملية تخليص و تمثيل البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي اعتمادا علي نموذج محدد. ويعد نموذج البيانات data model بمثابة القلب في النظام، حيث أنه يمثل مجموعة من العمليات لتمثيل الأهداف و العمليات التي تحدث في العالم الحقيقي تمثيلا رقميا في الكمبيوتر (الشكل ٨-١). إن الأفراد (المستخدمين) يتعاملون مع نظام المعلومات الجغرافي لتأدية مهام مثل عمل الخرائط وتحليل أنسب موقع والاستفسار عن البيانات. وكل هذه المهام تعتمد علي الكيفية التي بها تمثيل العالم الحقيقي تمثيلا رقميا، ومن ثم اختيار نموذج البيانات المناسب يعد أمرا هاما للغاية في بناء نظام المعلومات الجغرافي. لكن وكما سبق الذكر فأن العالم الحقيقي معقد بدرجة كبيرة بينما الكمبيوتر يتطلب أرقاما محددة، ومن ثم فهناك اختيارات صعبة يجب عملها في تحديد ما سيتم تمثيله رقميا وكيفية تمثيله أيضا. وعلي مستوي أخر فأن استخدامات نظم المعلومات الجغرافية متعددة وكذلك الظواهر الجغرافية في حد ذاتها. وبناءا عليه فلا يوجد "نموذج بيانات" واحد يصلح لجميع التطبيقات.



شكل (٨-١) دور نموذج البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي

عندما نقوم بتمثيل العالم الحقيقي فهناك أربعة مستويات من تلخيص أو تبسيط البيانات (أو التعميم generalization) كما في الشكل ٨-٢. أولا: الواقع reality وهو المكون من ظاهرات العالم الحقيقي (مثل المباني و الشوارع والأفراد ...الخ) سواء الظاهرات التي تناسب الهدف المنشود أم لا. أما النموذج الإدراكي conceptual model فهو نموذج بشري لتحديد و اختيار الأهداف التي نراها مناسبة للهدف من التمثيل. ثم يأتي النموذج المنطقي

logical model فهو تطبيق ما تم اختياره من أهداف و ظاهرات من خلال رسوم و قوائم مجدولة. وفي النهائية يأتي النموذج الفيزيقي أو الطبيعي physical model الذي يتكون من قواعد البيانات الرقمية في نظام معلومات جغرافي (لاحظ هنا أن كلمة "الفيزيقي" مجرد اصطلاح حيث أن هذا النموذج ما هو إلا نموذج رقمي داخل الكمبيوتر وليس شيئا ملموسا). وعلي مستوي عدم اليقين (الفصل السادس، الشكل ٦-١) فأن كلا من النموذجين الإدراكي و المنطقي يقعان خلف المصفاة الأولي بينما يكون النموذج الفيزيقي خلف المصفاة أو المرشح الثاني.



شكل (٨-٢) درجات تلخيص الواقع في نماذج البيانات

في عملية نمذجة البيانات يتم التعامل مع هذه المستويات الأربعة، فنحن نبدأ بتحديد الأهداف الرئيسية المطلوب تمثيلها داخل نظام المعلومات الجغرافية. تلي تلك المرحلة عملية إعداد قائمة بوصف هذه الأهداف أو الظاهرات المختارة والعلاقات بينهم، ثم يأتي تطبيق هذه المعلومات في إطار التمثيل الرقمي علي الكمبيوتر. وكما رأينا في الفصل الثالث فأن الأهداف المنفصلة أو المجالات المتصلة يكونان النموذجين الإدراكيين لتمثيل الواقع الحقيقي، بينما البيانات الخطية vector و البيانات الشبكية raster هما النموذجين المنطقيين المستخدمين في نظم لمعلومات الجغرافية.

٨-٢ نماذج بيانات نظم المعلومات الجغرافية

تم ابتكار و تطبيق عدد من نماذج البيانات في نظم المعلومات الجغرافية خلال النصف الثاني من القرن العشرين الميلادي (الجدول التالي). وفي قلب كل برنامج نظم معلومات جغرافية يوجد واحد أو أكثر من هذه النماذج لتمثيل ظاهرات العالم الحقيقي. وتعتمد البرامج

علي تجميع الظاهرات المتشابهة من الناحية الهندسية في مجموعات classes أو طبقات layers مما يسمح بتخزين أكثر كفاءة للبيانات وأيضا بسرعة في عمليات التعديل و التحليل.

نموذج البيانات	أمثلة للاستخدام
التصميم بالكمبيوتر	رسومات التصميمات الهندسية
الكارتوجرافيا الرقمية	الخرائط البسيطة
الصور	تحليل المرئيات
النموذج الشبكي	التحليل المكاني و النمذجة البيئية
النموذج الخطي	تطبيقات متعددة خاصة في تحليل الموارد
الشبكات	تحليل الشبكات مثل شبكات النقل و الخدمات
شبكات المثلثات غير المنتظمة	تمثيل وتحليل السطوح و التضاريس
الأهداف	تطبيقات متعددة لكافة نماذج البيانات

٨-٢-١ نماذج التصميم بالكمبيوتر و الرسومات و الصور

اعتمدت نظم المعلومات الجغرافية في بادئ ظهورها علي نماذج بيانات بسيطة تأتي من ملفات التصميم بالكمبيوتر Computer-Aided Design (CAD) والتي تستخدم النقطة و الخط و المضلع لتمثيل الظاهرات المكانية. ولم ينتشر هذا النموذج (CAD model) من نماذج البيانات كثيرا في نظم المعلومات الجغرافية حيث أنه (بصورة عامة) يعتمد علي إحداثيات نسبية local coordinates بدلا من الإحداثيات الحقيقية للأرض. كما أن هذا النموذج يركز علي التمثيل المكاني للأهداف ولا يمكنه تخزين تفاصيل العلاقات بين الأهداف (مثل الشبكات و الطبولوجيا) والتي يحتاجها التحليل المكاني.

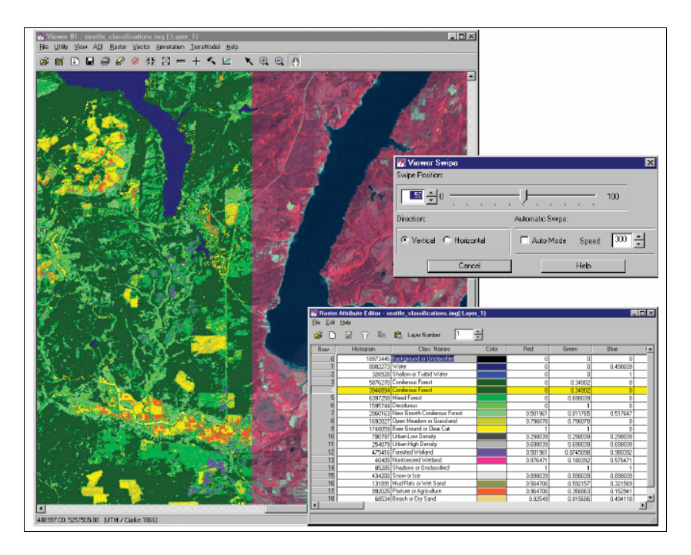
في الستينات من القرن العشرين الميلادي تم الاعتماد علي "ترقيم digitization" الخرائط الورقية لتحويلها إلي خرائط موضوعية thematic maps في صورة رقمية. وأيضا كانت الظواهر المكانية تمثل في صورة النقاط و الخطوط و المضلعات (نموذج الكارتوجرافيا الرقمية computer cartography model)، لكن بدون بيانات غير مكانية attributes أو العمل علي العلاقات بين الأهداف.

وفي نفس هذه المرحلة الزمنية تم ابتكار أسلوب المسح الضوئي scanning للصور الجوية (والمرئيات الفضائية لاحقا) ليتم بذلك تمثيل البيانات فيما يعرف باسم نموذج الصور Image model.

٨-٢-٢ نموذج البيانات الشبكية

يستخدم نموذج البيانات الشبكية raster model مصفوفة من الخلايا أو البكسل لتمثيل ظاهرات العالم الحقيقي (شكل ٨-٣). وتحمل الخلية الواحدة القيمة غير المكانية attribute بناءا علي عدة أساليب للترميز (أو التكويد encoding) فقد تكون هذه القيمة رقما صحيحا integer أو رقما بكسور عشرية float. وفي بعض النظم يمكن للخلية الواحدة أن تحمل أكثر من قيمة للبيانات غير المكانية multiple attribute.

يتم تمثيل البيانات الشبكية في صورة مصفوفة من قيم الخلايا، مع وجود ملف metadata (وصف البيانات) يضم معلومات مثل الإحداثيات الجغرافية للركن العلوي من اليسار للشبكة، حجم الخلية، عدد الصفوف، عدد الأعمدة، و المسقط projection. أما بيانات النموذج الشبكي في حد ذاتها (وبسبب كبر حجمها) فيتم وضعها في ملفات مضغوطة comprised files لتقليل حجم الذاكرة و حجم التخزين المطلوب علي القرص الصلب للكمبيوتر.



شكل (٨-٣) مثال لنموذج البيانات الشبكية

٨-٢-٣ نموذج البيانات الخطية

يمثل نموذج البيانات الشبكية أفضل طرق تمثيل ظاهرات المجالات المتصلة، بينما يستخدم نموذج البيانات الخطية vector model لتمثيل الظاهرات من نوع الأهداف المنفصلة. ويتميز نموذج البيانات الخطية بالدقة المكانية العالية لتمثيل الظاهرات و الأهداف، وكفاءة تخزين البيانات، وجودة المنتج الكارتوجرافي، وتوافر أدوات عديدة للتراكب overlay و التحليل. في هذا النموذج يتم - بداية - تصنيف معالم العالم الحقيقي في مستوي ثنائي الأبعاد

فقط (2-dimension) إلي: نقطة أو خط أو مضلع (الشكل ٨-٤). يتم تسجيل النقاط points (مثل الآبار والمباني) بواسطة زوج من الإحداثيات الأفقية x, y. أما الخطوط polylines (مثل الطرق والصدوع) فيتم تسجيلها بمجموعة من الإحداثيات الزوجية. وفي الصورة العامة الأكثر شيوعا فتسجل المضلعات polygons (مثل مناطق التربة و استخدامات الأراضي) بمجموعة من الخطوط المتصلة المغلقة. وتجدر الإشارة إلي أنه في بعض الحالات يمكن تمثيل المضلع مكونا من عدد من المنحنيات curves (وليس الخطوط المستقيمة). أما الإحداثيات التي تحدد طبيعة موقع كل هدف فقد تكون إحداثيات ثنائية (x,y أو خط الطول و دائرة العرض)، أو إحداثيات ثلاثية (x,y,z حيث z يمثل الارتفاع)، أو إحداثيات رباعية (x,y,z,t حيث t يمثل الزمن).

Points نقاط

رقم النقطة	الاحداثيات (x,y)
1	(2,4)
2	(3,2)
3	(5,3)
4	(6,2)

Polylines خطوط

رقم الخط	الاحداثيات (x,y)
1	(1,5) (3,6) (6,5) (7,6)
2	(1,1) (3,3) (6,2) (7,3)

Polygons مضلعات

رقم المضلع	الاحداثيات (x,y)
1	(2,4) (2,5) (3,6) (4,5) (3,4) (2,4)
2	(3,2) (3,3) (4,3) (5,4) (6,2) (5,1) (4,1) (4,2) (3,2)

شكل (٨-٤) مثال لنموذج البيانات الخطية

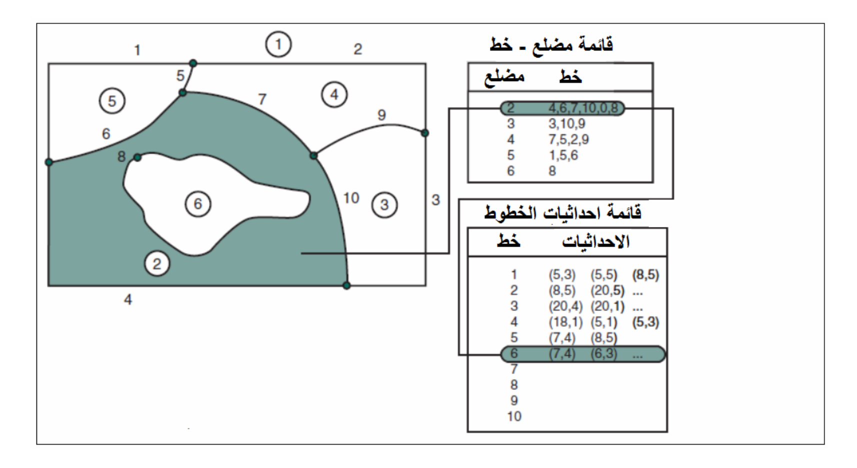
يتكون النموذج الخطي من جزأين: التركيب الهندسي، والتركيب البنائي أو التركيب الطبولوجي. الطبولوجيا topology هي علم ورياضيات العلاقات الهندسية بين الأهداف، والعلاقات الطبولوجية ليست علاقات رقمية أو كميات يمكن قياسها وهي لا تتغير مع تغير الحيز المكاني للأهداف. فعلي سبيل المثال عندما تتمدد الخريطة الورقية فأن الزوايا و المسافات ستتغير، لكن العلاقات الطبولوجية (مثل التجاور) ستبقي ثابتة. ويستخدم التركيب الطبولوجي أو التركيب البنائي في عمليات تحقيق validation هندسة البيانات الخطية وأيضا في تحليل الشبكات. فكما هو معروف فأن مصادر البيانات تتعدد بدرجة كبيرة (ترقيم الخرائط الورقية و القياس الميداني والصور الجوية و المرئيات الفضائية و ملفات التصميم بالكمبيوتر ...الخ)

وهنا فأن فحص البناء الطبولوجي لقواعد البيانات يعد طريقة لتحقيقها و تقدير درجة جودتها قبل استخدامها في التحليل. ومن أمثلة الاختبارات الطبولوجية:

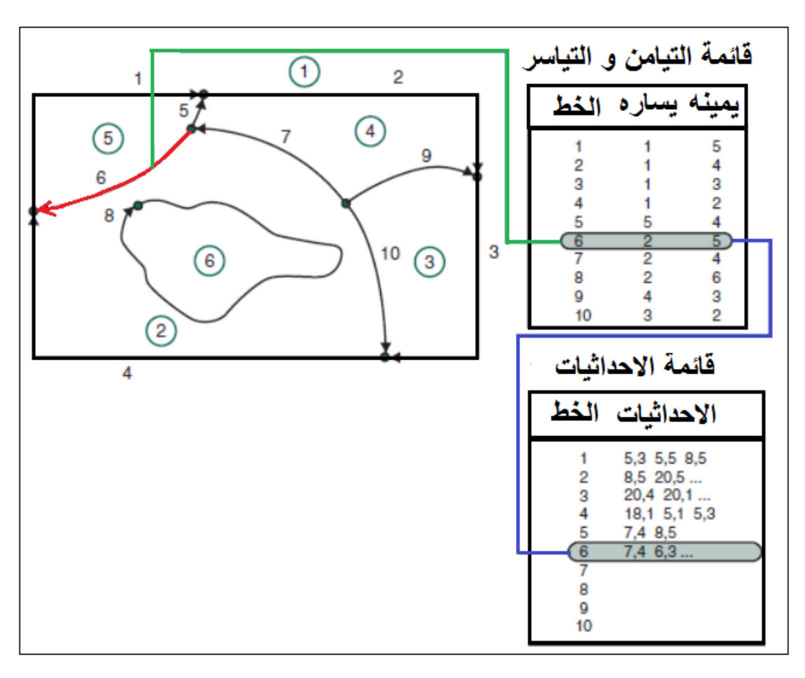
- تقاطع الخطوط intersection: فمثلا الطرق تتقاطع في البيانات ثنائية الأبعاد(x,y) ، بينما لا تتقاطع عند استخدام البيانات ثلاثية الأبعاد (x,y,z).
- التراكب overlay: هل تتقاطع المضلعات المتجاورة؟ فعلي سبيل المثال في تطبيقات الملكيات من غير المناسب أن يكون هناك تراكب (تداخل) بين كل قطعة أرض و القطع المجاورة لها أو أن يكون هناك فواصل بين القطع.
- الخطوط المزدوجة duplicate: هل توجد نسخ مزدوجة من مضلع أو جزء من شبكة؟ فمن المهم اكتشاف و حذف أية نسخ مزدوجة من نفس المظهر أو المعلم الجغرافي.
- ترابط الشبكات connectivity: هل جميع أجزاء شبكة معينة مترابطة معا؟ مثلا في شبكات المياه من المفترض ألا يوجد فواصل بين خطوط الشبكة.

الشكل (٨-٥) يوضح لنا بصورة أكثر تفصيلا التركيب البنائي أو الطبولوجي في حالة البيانات الخطية من نوع المضلعات. ففي هذا الشكل نري ٦ مضلعات (بما فيها المضلع الخارجي رقم ١). وكل مضلع مكون من عدد من الخطوط كما توضح قائمة "مضلع-خط"، فمثلا المضلع رقم ٢ يتكون من الخطوط أرقام ٤، ٦، ٧، ١٠، ٨. ونلاحظ وجود الرقم صفر قبل الخط رقم ٨ للدلالة علي أن هذا الخط يمثل "جزيرة" داخل المضلع المنشود. وفي الجدول الثاني توجد قيم إحداثيات كل خط من الخطوط، فمثلا الخط رقم ٥ يبدأ من الاحداثي (٧،٤) ثم الاحداثي (٨،٥) .... الخ. ومن الممكن أن يظهر الخط في أكثر من مضلع (مثلا الخط ٦ موجود في كلا المضلعين ٢ و ٥) إلا أن إحداثيات الخط يتم تخزينها مرة واحدة فقط دون تكرار. ومن ثم فأن مميزات البناء الطبولوجي أنه يقلل من عدد الإحداثيات التي يتم تخزينها في قاعدة البيانات مقارنة بالحالة العادية للمضلعات التي ليس لها بناء طبولوجي. أيضا نري أن التركيب البنائي يوضح علاقات التجاور contiguity or adjacency بين المضلعات، مما يسمح لنا بتحديد المضلعات التي تقع علي يمين أو علي يسار كل مضلع. ففي الشكل (٨-٦) نجد أن المضلع رقم ٢ يقع علي يسار الخط رقم ٦ بينما الخط رقم ٥ يقع علي يمينه. وبمعني آخر فأن تحليلا بسيطا - لهذا البناء الطبولوجي - يدلنا علي أن المضلعين ٢ و ٥ متجاورين. وفي معظم البرامج الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية يتم تخزين العلاقات الطبولوجية في ملف منفصل، لكنه مرتبط تماما مع ملفي البيانات المكانية و البيانات غير المكانية. ويتم تطبيق البناء

الطبولوجي في العديد من استخدامات نظم المعلومات الجغرافية مثل الملكيات والخرائط التفصيلية و تخطيط المباني وإدارة الموارد الطبيعية و البيئية.



شكل (٨-٥) مثال للبناء الطبولوجي في حالة المضلعات - الخطوط

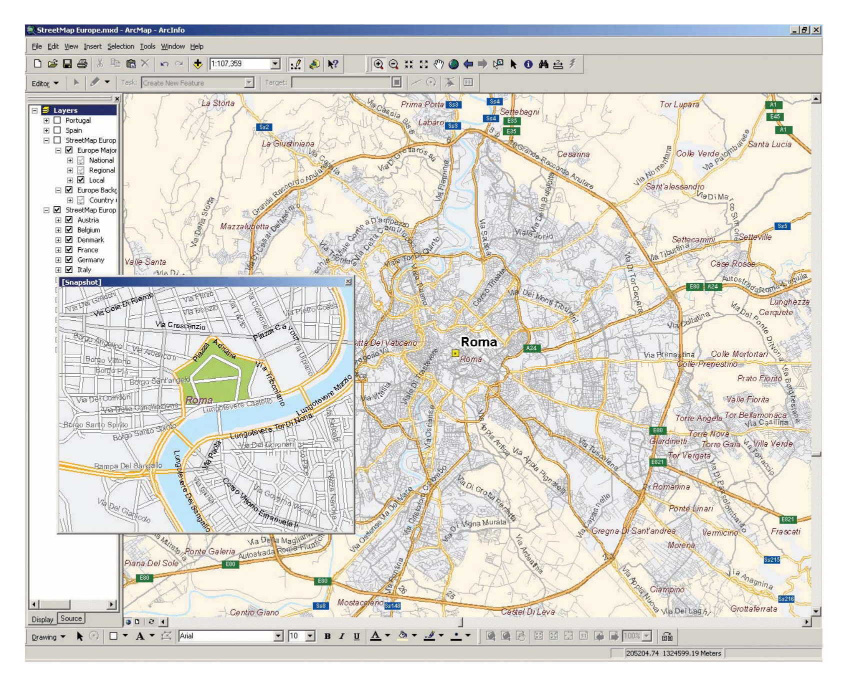


شكل (٨-٦) مثال للبناء الطبولوجي لتجاور الخطوط

٨-٢-٤ نموذج بيانات الشبكات

يعد نموذج الشبكة network model نوعا خاصا من نموذج البيانات الطبولوجية، وهو مستخدم بكثيرة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل شبكات المياه و الكهرباء و الغاز و الطرق والسكك الحديدية. ويوجد نوعين من الشبكات وهما الشبكة الإشعاعية أو شبكة الشجرة radial or tree والشبكة الحلقية looped. في النوع الأول نجد السريان له اتجاهين إما صاعدا upstream أو هابطا downstream، ومن أمثلة هذا النوع شبكات التصريف

المائي. أما في النوع الثاني من الشبكات فمن الممكن أن نجد عدد من التقاطعات intersections، ومن أمثلة هذه الشبكات علي سبيل المثال شبكات توزيع المياه. وفي برامج نظم المعلومات الجغرافية يتم تمثيل الشبكة من خلال النقاط و الخطوط، والتركيب البنائي (الطبولوجي) هو الذي يحدد كيفية اتصال الخطوط مع بعضها البعض. ويمثل الشكل (٨-٧) مثال لشبكة الشوارع مكونة من عدد من العقد nodes (أي النقاط) التي تمثل تقاطعات الشوارع، وعدد من الخطوط التي تمثل أنواع الشوارع، بالإضافة للعلاقات الطبولوجية فيما بينهم.

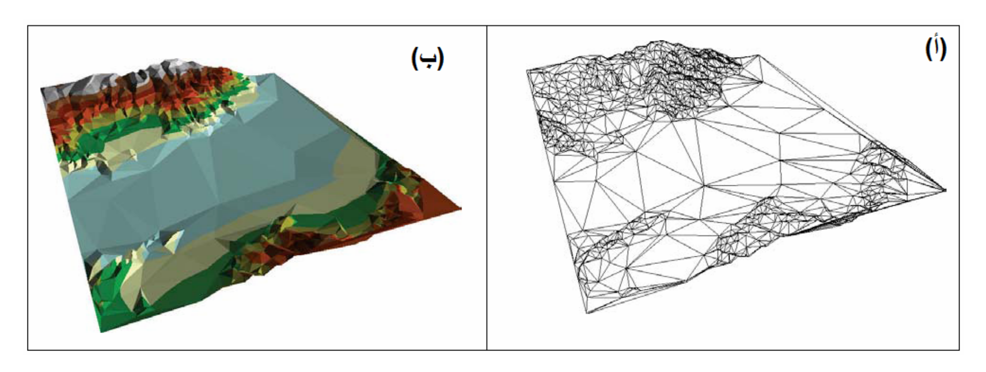


شكل (٨-٧) مثال لنموذج بيانات الشبكة

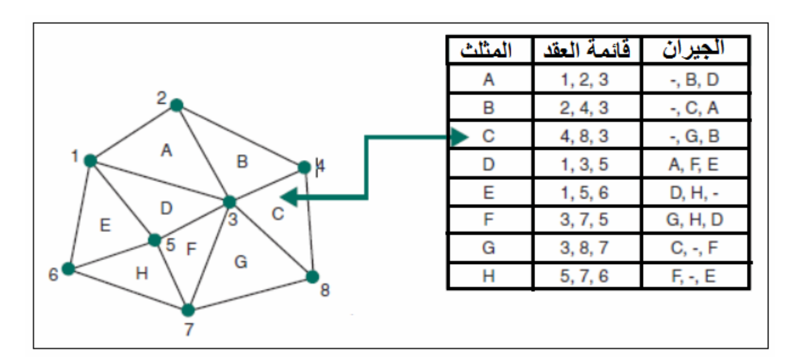
٨-٢-٥ نموذج بيانات شبكات المثلثات غير المنتظمة

نموذج شبكات المثلثات غير المنتظمة Triangulated Irregular Network (أو اختصارا TIN) هو أحد النماذج التي تعتمد علي تمثيل البيانات ثلاثية الأبعاد (x,y,z) بخلاف النماذج السابقة التي تمثل البيانات إما أحادية أو ثنائية الأبعاد. يتكون نموذج TIN من عدد من النقاط (لكل نقطة إحداثيات x,y,z) تشكل فيما بينهم عدد من المثلثات غير المتقاطعة والمختلفة في المساحات (الشكل ٨-٨). ومن أهم مميزات TIN أن عدد هذه المثلثات يعتمد علي عدد النقاط المعلومة وكثافة توزيعها، فكلما زاد عدد النقاط زاد عدد المثلثات مما يسمح بتمثيل السطح بدقة أكبر. ونموذج الشبكات غير المنتظمة هو نموذج طبولوجي بطبيعته يقوم بإدارة البيانات عن العلاقات بين النقاط أو العقد التي تمثل كل مثلث وعلاقته بالمثلثات المجاورة له (الشكل ٨-٩). ومن خلال بيانات TIN يمكن حساب الميول slopes واتجاهات الأوجه

aspects ومدي الرؤية بين النقاط line of sight. ويتم استخدام نموذج شبكات المثلثات غير المنتظمة في عدد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل تصميم الطرق و دراسات الصرف المائي وتنمية الأراضي والدراسات البيئية للمخاطر الطبيعية.



شكل (٨-٨) مثال لنموذج بيانات شبكات المثلثات غير المنتظمة



المثلث	قائمة العقد	الجيران
A	1, 2, 3	-, B, D
B	2, 4, 3	-, C, A
C	4, 8, 3	-, G, B
D	1, 3, 5	A, F, E
E	1, 5, 6	D, H, -
F	3, 7, 5	G, H, D
G	3, 8, 7	C, -, F
H	5, 7, 6	F, -, E

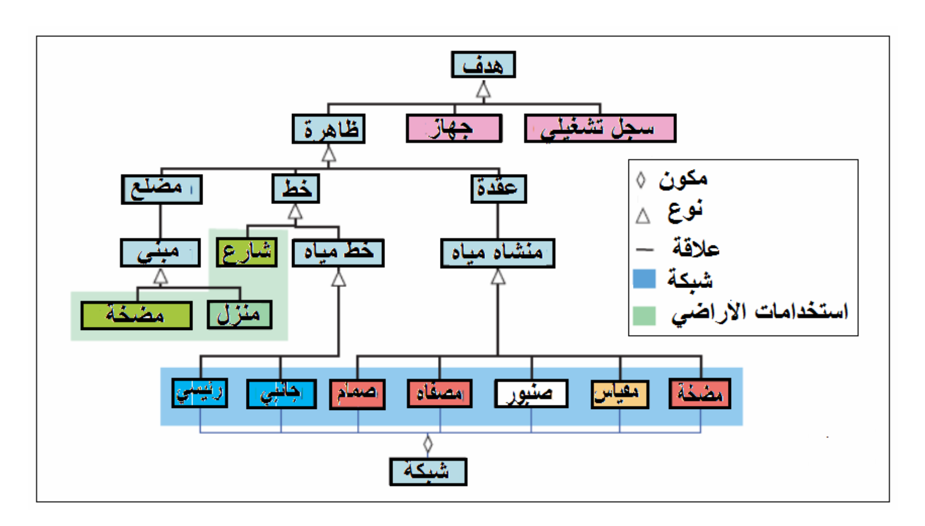
شكل (٨-٩) مثال للتركيب الطبولوجي في شبكات المثلثات غير المنتظمة

٨-٢-٦ نموذج بيانات الأهداف

تركز كل نماذج البيانات السابقة علي النظرة الهندسية للظواهر الممثلة داخل النموذج، سواء النقاط أو الخطوط أو المضلعات أو البيانات الشبكية أو شبكات المثلثات غير المنتظمة. فهذه النماذج تفصل ما بين الخصائص الهندسية والخصائص الطبولوجية للبيانات (كلا منهم في قواعد بيانات منفصلة) مما يجعل عمليات التحليل التي تقوم بها البرامج عمليات معقدة و تستغرق وقتا طويلا بالإضافة لإمكانية حدوث الأخطاء. ومن هنا جاءت الحاجة لتطوير نموذج بيانات تكاملي في نظم المعلومات الجغرافية. ويعتمد نموذج بيانات الأهداف object model في جوهره علي تجميع الأهداف المكانية والعلاقات بينها، فكل هدف ما هو إلا مجموعة متكاملة من الظاهرات المكانية وخصائصها و الطرق التي تحدد سلوكها. وبمعني آخر فأن كل الأهداف المكانية المتشابهة يتم تجميعها داخل "فئة class" حيث يكون كل هدف داخل هذه الفئة عبارة عن "شاهد instance". وفي معظم البرامج فأن كل فئة يتم تخزينها في قاعدة بيانات أو جدول

بيانات غير مكانية attribute table حيث يكون كل سطر عبارة عن هدف وكل عمود عبارة عن خاصية من خصائص هذا الهدف.

لكل هدف جغرافي علاقات مع الأهداف المشابهة في نفس الفئة، وأحيانا يكون له علاقات من أهداف أخري خارج هذه الفئة. ويمكن بصورة عامة تقسيم العلاقات إلي ثلاثة أنواع: علاقات طبولوجية topological (مثل حالة العقد و تقاطعات الخطوط داخل الشبكة)، علاقات جغرافية geographic (مثل التراكب و التداخل و التجاور)، وعلاقات عامة general (مثل ربط جدول قطع الأراضي مع جدول أسماء الملاك ليمكن تحديد اسم المالك لكل قطعة أرض). والشكل (٨-١٠) يقدم مثالا لنموذج بيانات الأهداف في شبكة توزيع المياه داخل مدينة.



شكل (٨-١٠) مثال لنموذج بيانات الأهداف في شبكة المياه

٨-٣ نمذجة البيانات الجغرافية

تعتمد جودة التحليل المكاني علي جودة قواعد البيانات الجغرافية ذاتها التي تعتمد بدورها علي جودة و كفاءة نموذج البيانات المستخدم. تبدأ نمذجة البيانات data modeling بتحديد أهداف المشروع بوضوح من خلال الفهم الكامل لمتطلبات المستخدمين. ثم تأتي مرحلة تحديد الأهداف (الظاهرات) الجغرافية والعلاقات بينهم ثم تطوير النموذج المنطقي ولاحقا بناء النموذج الفيزيقي. وكل هذه الخطوات تعد بمثابة مقدمة لبناء قواعد البيانات ثم استخدامها عمليا فيما بعد.

في نمذجة البيانات الجغرافية لا توجد خطوة أهم من فهم طبيعة النمذجة في حد ذاتها، وذلك من خلال تجميع متطلبات مستخدمي نظام المعلومات الجغرافية. وهنا يجب قضاء وقت أطول لاستطلاع آراء هؤلاء المستخدمين بوضوح كامل، ومن الأفضل تدوين كل هذه الآراء

في قائمة محددة واضحة. وفي مرحلة بناء النموذج المنطقي يجب تحديد الظاهرات و العلاقات التي سيتم نمذجتها، سواء البيانات المكانية أو البيانات غير المكانية المطلوبة. وفي الخطوة التالية يتم تحويل هذا النموذج المنطقي إلي نموذج فيزيقي من خلال بناء قواعد البيانات. ويجب الانتباه إلي ضرورة اختيار نموذج البيانات المناسب للمشروع، طبقا لفهم مميزات و عيوب و تطبيقات كل نوع من أنواع نماذج البيانات السابق شرحها. فعلي سبيل المثال فأن نموذج بيانات الأهداف هو الأنسب في تطبيقات الخدمات، بينما يمكن الاكتفاء بنموذج بيانات بسيط في التطبيقات التقليدية مثل الخرائط الرقمية. وكما سبق الشرح فأن نموذج البيانات الخطية vector يعد مناسبا للأهداف المنفصلة، بينما يعد نموذج البيانات الشبكية raster الأنسب للظاهرات من نوع المجالات المتصلة. وبصفة عامة فأن نمذجة البيانات الجغرافية تعد علماً و فناً في نفس الوقت، فهي علم يتطلب فهما منطقيا لخصائص الظاهرات المكانية في العالم الحقيقي، وهي فنا يعتمد علي رؤية واختيارات أخصائي نظم المعلومات الجغرافية.

الفصل التاسع

تجميع بيانات نظم المعلومات الجغرافية

٩-١ مقدمة

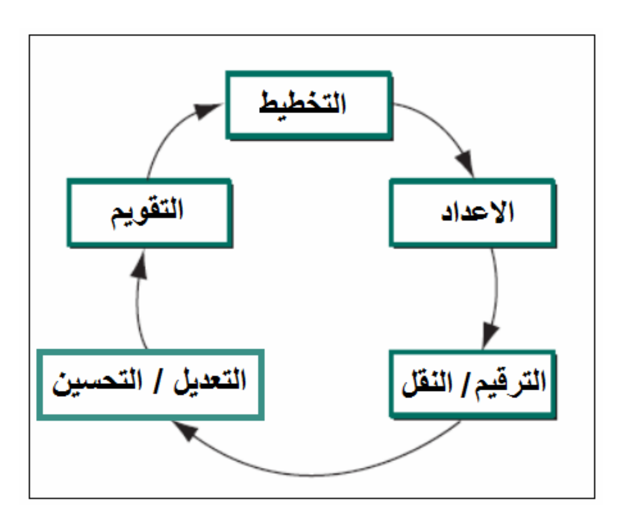
يحتوي نظام المعلومات الجغرافي علي عدة أنواع من البيانات المكانية التي تأتي من عدة مصادر. ومن الممكن تقسين عملية تجميع البيانات data collection إلي جزأين أو عمليتين: (١) الحصول علي البيانات data capture، (٢) نقل البيانات data transfer. وفي هذا الإطار فمن المهم تقسيم طرق تجميع كلا من البيانات الخطية و الشبكية إلي نوعين: طرق أساسية (بيانات رقمية للاستخدام المباشر في نظم المعلومات الجغرافية) و طرق ثانوية (بيانات رقمية و غير رقمية) كما في الجدول التالي.

	بيانات شبكية	بيانات خطية
طرق أساسية	المرئيات الفضائية للاستشعار عن بعد	قياسات النظام العالمي لتحديد المواقع GPS
	صور جوية رقمية	قياسات المساحة الأرضية
طرق ثانوية	خرائط أو صور جوية ممسوحة ضوئيا	الخرائط الطبوغرافية
	نماذج ارتفاعات رقمية من الخرائط الكنتورية	قواعد بيانات العناوين

تعد مرحلة تجميع البيانات في مشروع نظام معلومات جغرافي هي المرحلة التي تستغرق وقتا طويلا و أيضا تكلفة عالية. عادة فأن تكلفة تجميع البيانات تتراوح من ١٥% إلي ٥٠% بصفة عامة (لكن قد تصل أحيانا إلي ٨٠%) من التكلفة الكلية للمشروع. كما تجدر الإشارة إلي أن عملية تحديث البيانات باستمرار (للمشروعات التي تستغرق فترة زمنية طويلة) تعد عملية هامة وقد تكون مكلفة اقتصاديا أيضا.

تتكون عملية تجميع البيانات من عدة مراحل متصلة (الشكل ٩-١) تشمل التخطيط planning والإعداد preparation والترقيم/النقل digitizing/transfer والتعديل/التحسين editing/improvement ثم التقويم evaluation. يبدأ التخطيط بإعداد قائمة بمتطلبات المستخدمين الموارد المطلوبة (أجهزة و برامج و أفراد) وتطوير خطة العمل. ويشمل الإعداد عدة مهام مثل الحصول علي البيانات وتجهيزها (مثل المسح الضوئي للخرائط الورقية) وتقويم جودتها. أما مرحلة الترقيم/النقل فهي أكثر المراحل جهدا وغالبا ما تستغرق

وقتا طويلا. وفي مرحلة التعديل/التحسين يتم اكتشاف الأخطاء في المراحل السابقة و تصحيحها. ثم تأتي مرحلة التقويم أخيرا وتهدف لتحديد مدي نجاح عملية تجميع البيانات ككل علي كلا المستويين النوعي و الكمي. وغالبا فان مراحل تجميع البيانات تكون تكرارية، وعامة ما يكون هناك مرحلة تجريبية صغيرة في البداية قبل التنفيذ الفعلي لتجميع كافة بيانات المشروع.



شكل (١٠-١) مراحل تجميع البيانات

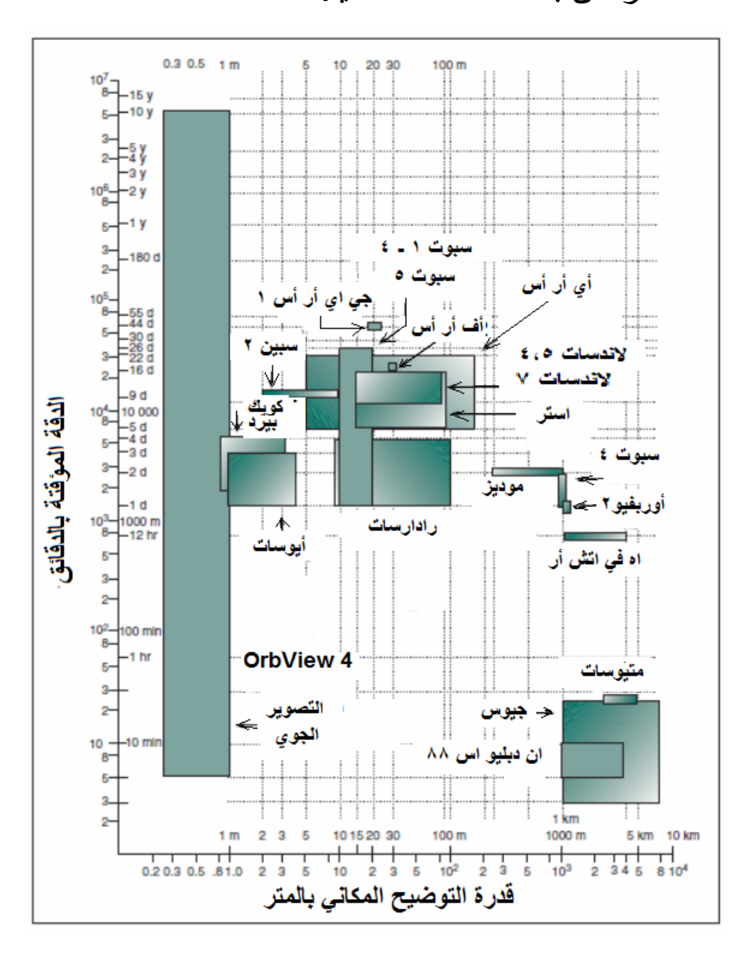
٩-٢ الطرق الأساسية لتجميع البيانات

الطرق الأساسية هي الطرق التي تتيح القياس المباشر للأهداف المكانية. أو بمعني آخر هي الطرق التي ينتج عنها قياسات رقمية يتم إدخالها مباشرة لنظام المعلومات الجغرافي أو علي الأقل تخزينها في ملفات رقمية قبل إدخالها للنظام. وهناك طرق أساسية لكلا نوعي البيانات الخطية vector و الشبكية raster.

٩-٢-١ الحصول علي البيانات الشبكية

يعد الاستشعار عن بعد remote sensing أشهر طرق الحصول علي البيانات الشبكية و أكثرها انتشارا في الوقت الحالي. وبصورة عامة فأن الاستشعار عن بعد هو عملية الحصول علي معلومات عن الخصائص الطبيعية و الكيمائية و الحيوية للأهداف دون تلامس مباشر معها. ويتم الحصول علي هذه البيانات من خلال قياس كمية الضوء الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث من هذه الأهداف. وتوجد العديد من أنواع المجسات أو المستشعرات sensors التي يمكنها عمل القياسات في نطاق واسع من الضوء الكهرومغناطيسي (من مجال الضوء المرئي إلي مجال الأشعة القصيرة أو الميكروويف). وبصفة عامة فأن أجهزة

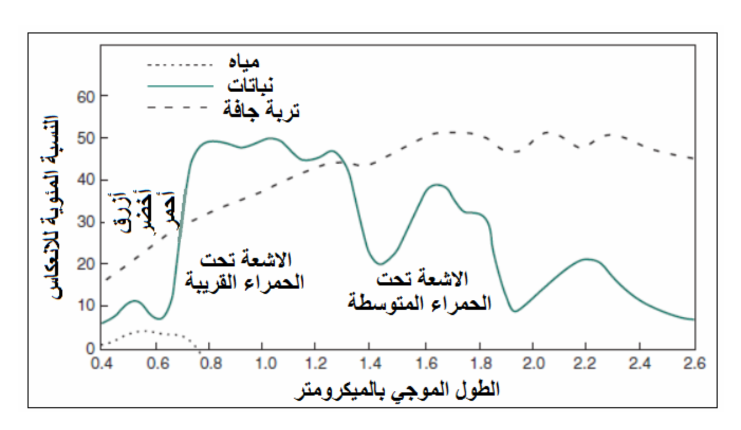
الاستشعار (أو المستشعرات) يمكن تقسيمها إلي نوعين: مستشعرات سالبة passive تعتمد فقط علي استقبال الأشعة المنعكسة أو المنبعثة من الأرض، و مستشعرات موجبة active تقوم بإطلاق أشعة ثم تستقبلها مرة أخربي عند انعكاسها من سطح الأرض. أما المنصات platforms التي تحمل أجهزة الاستشعار فهي أساسا الأقمار الصناعية و الطائرات، و أحيانا تستخدم الطائرات المروحية (الهليكوبتر) و البالون أو المنطاد. والشكل (٩-٢) يقدم بعض خصائص أقمار الاستشعار عن بعد المستخدمة حاليا.



شكل (٩-٢) خصائص بعض الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد

من وجهة نظر نظم المعلومات الجغرافية فأن قدرة الوضوح resolution من أهم عناصر الاستشعار عن بعد. وتوجد ثلاثة أنواع من قدرة الوضوح: قدرة الوضوح المكانية spatial resolution، قدرة الوضوح الطيفية spectral resolution، وقدرة الوضوح المؤقتة temporal resolution. تعبر قدرة الوضوح المكانية عن حجم الخلية أو البكسل وهي التي تمثل أصغر هدف يمكن تمييزه بوضوح. وتتراوح قدرة الوضوح المكانية للأقمار الصناعية المدنية بين ٠.٥ متر إلي ١ كيلومتر، بينما عادة يتراوح حجم المرئية الواحدة بين ٦×٦ إلي ٢٠٠×٢٠٠ كيلومتر. تشير قدرة الوضوح الطيفية إلي الجزء من الضوء

الكهرومغناطيسي الذي يستطيع المستشعر قياسه. فكل جزء من الأشعة يمكن لجهاز الاستشعار استقباله يتم تسجيله في نطاق band محدد، ولذلك فأن عدد النطاقات هام للغاية في عملية الاستشعار عن بعد حيث أن كل هدف أو معلم أرضي يمتص ويعكس كل نطاق بصورة مختلفة عن النطاق الآخر (أي أن لكل هدف أو ظاهرة أرضية بصمة طيفية spectral signature مختلفة في كل نطاق من نطاقات الأشعة الكهرومغناطيسية). والشكل (٩-٣) يمثل مثالا لنسبة الانعكاس لثلاثة أنواع من الظاهرات المكانية في عدد من نطاقات الضوء الكهرومغناطيسي. وتستطيع الأقمار الصناعية الحديثة قياس وتسجيل عدد كبير من النطاقات قد تصل إلي العشرات. أما دقة الوضوح المؤقتة (أو الدورة الواحدة) فهي تعبر عن الفترة الزمنية التي يمر بها القمر الصناعي مرتين علي نفس البقعة المكانية علي الأرض، أي الفترة الزمنية بين كل مرئيتين متتاليتين لنفس المنطقة. فعلي سبيل المثال فأن القمر الفرنسي سبوت-٥ يكمل دورة كاملة حول الأرض (أي يزور نفس المنطقة الأرضية مرة أخري) كل ٢٦ يوم. ويحمل هذا القمر الصناعي عدة مستشعرات أحدهما للضوء المرئي (مرئيات غير ملونة panchromatic) ودقة وضوحه المكانية تبلغ ٢.٥×٢.٥ متر، والآخر متعدد النطاقات multi-spectral (النطاقات الأزرق و الأحمر و الأخضر و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة) تبلغ دقته المكانية ١٠×١٠ متر، بينما يوجد أيضا مستشعر للأشعة تحت الحمراء القصيرة shortwave near infrared بدقة مكانية ٢٠×٢٠ متر. وتبلغ مساحة المرئية الواحدة للقمر سبوت-٥ ٦٠×٦٠ كيلومتر. ومن أهم مميزات هذا القمر الصناعي قدرته علي التصوير المزدوج stereo images التي يمكن منه عمل القياسات ثلاثية الأبعاد و تطوير نماذج الارتفاعات الرقمية.



شكل (٩-٣) البصمة الطيفية لبعض الظاهرات المكانية

يعد التصوير الجوي مصدرا هاما للحصول علي البيانات المكانية، وهو يشبه إلي حد كبير عملية الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية (كلاهما ينتج صورة image في النهاية) إلا

أن معظم الصور الجوية تكون باستخدام الأفلام وليس التصوير الرقمي. وعادة فأن الكاميرا توضع في طائرة تطير علي ارتفاع يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٩٠٠٠ متر، وتكون الصور إما غير ملونة أو ملونة في النطاق المرئي من الضوء الكهرومغناطيسي (وان كان أحيانا يتم التصوير بالأشعة تحت الحمراء). وللدقة المكانية العالية للتصوير الجوي فأنه يعد مناسبا بقوة لتطبيقات المساحة و الخرائط التفصيلية. وفي حالة التصوير مع وجود منطقة تداخل overlap بين كل صورتين متتاليتين (أي الصور المزدوجة) فيمكن استخدام هذه الصور الجوية في عمل الخرائط الكنتورية و نماذج الارتفاعات الرقمية.

لمرئيات الاستشعار عن بعد (وأيضا الصور الجوية) عدة مميزات في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. فللمرئيات الفضائية والصور الجوية نطاق تغطية كبير وغالبا عالمي مما يجعلهما مناسبين لمشروعات المناطق الجغرافية الكبيرة أو الشاسعة. أيضا فأن التصوير المتكرر علي فترات زمنية متغيرة يكون هاما في متابعة التغيرات الزمنية للظاهرات الجغرافية. وبالطبع فأن الاستشعار عن بعد و التصوير الجوي يمدوننا بمعلومات دقيقة عن ظاهرات وأهداف المناطق الجغرافية التي يصعب الوصول إليها بالطرق الأرضية (مثل الصحاري والغابات).

٩-٢-٢ الحصول على البيانات الخطية

تعد المساحة الأرضية والمساحة بالجي بي أس GPS من أهم طرق الحصول علي البيانات الخطية vector في نظم المعلومات الجغرافية. تعتمد المساحة الأرضية علي مبدأ تحديد الموقع ثلاثي الأبعاد (x,y,z) لأي نقطة أو موقع من خلال قياس الزوايا و المسافات لنقاط معلومة الإحداثيات. وعادة يكون العمل المساحي عملا نسبياً relative، بمعني أن إحداثيات النقاط الجديدة تكون منسوبة لإحداثيات النقاط المرجعية المعلومة (يطلق عليها اسم نقاط الثوابت الأرضية). تقليديا يتم استخدام أجهزة الثيودليت و الميزان في العمل المساحي الأرضي، وحديثا فأن الاعتماد أصبح علي الأجهزة الالكترونية المسماة بأجهزة المحطة الشاملة أو المحطة المتكاملة total station التي قد تصل دقتها إلي ١ ملليمتر (شكل ٩-٤). ومن أهم مميزات جهاز المحطة الشاملة أنه يخزن القياسات في الذاكرة الالكترونية الداخلية، ثم يتم نقلها مباشرة للكمبيوتر من خلال كابل. وعادة يكون هناك شخصين في العمل المساحي الأرضي أحدهما يدير الجهاز ذاته بينما الآخر يحمل العاكس reflector prism الذي يعكس الأشعة مرة أحري للجهاز ليمكن حساب المسافات الكترونيا.

تعد المساحة الأرضية مكلفة اقتصاديا لأنها تستغرق وقتا طويلا في العمل الميداني أو الحقلي، إلا أنها تقدم مستويات دقة عالية جدا. ومن ثم فأن المسح الأرضي مازال هو الأنسب للحصول علي البيانات عالية الدقة مثل تطبيقات تحديد الملكيات وتحديد شبكات الخدمات (مثل شبكات المياه و الصرف الصحي و الكهرباء) بالإضافة للمشروعات الهندسية. أيضا فمن أهم تطبيقات المساحة الأرضية تحديد مواقع النقاط المرجعية التي يتم من خلالها الإرجاع الجغرافي للمرئيات الفضائية و الصور الجوية. أما تقنية الجي بي أس فقد تم التعرض إليها بشكل مبسط في الفصل الخامس.



شكل (٩-٤) مثال لجهاز المساحة الأرضية من نوع المحطة الشاملة

٩-٣ الطرق الثانوية لتجميع البيانات

الطرق الثانوية لتجميع البيانات الجغرافية هي التي يتم استخدامها في إنشاء الملفات الشبكية و الخطية من الخرائط و الصور الجوية وباقي أنواع المستندات غير الرقمية. وفي هذه الطرق يتم استخدام المسح الضوئي scanning للحصول علي البيانات الشبكية بينما يتم استخدام الترقيم digitizing والمسح التصويري المزدوج stereo-photogrammetry للحصول علي البيانات الخطية.

٩-٣-١ الحصول على البيانات الشبكية بالمسح الضوئى

الماسح الضوئي scanner هو جهاز يسمح بتحويل المستندات الورقية إلي صورة رقمية image من خلال تسجيل كمية الضوء المنعكس الصادر منه (الشكل ٩-٥). عادة تكون الصورة الناتجة ملونة، وتتراوح قدرة الوضوح resolution لأجهزة الماسحات الضوئية بين

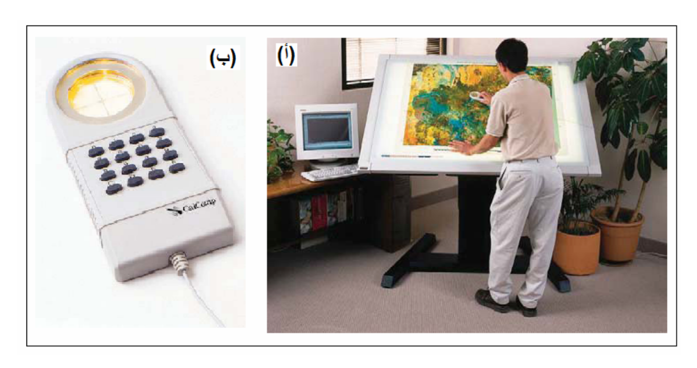
٢٠٠ نقطة/بوصة (dot per inch or dpi) للأجهزة البسيطة إلي ٢٤٠٠ نقطة/بوصة للأجهزة المتقدمة. وطبقا لقدرة الوضوح فأن جهاز الماسح الضوئي قد يستغرق مدة تتراوح بين ٣٠ ثانية و عدة دقائق لإتمام عملية المسح الضوئي لخريطة.



شكل (٩-٥) مثال لجهاز الماسح الضوئي

٩-٣-٢ الطرق الثانوية للحصول على البيانات الخطية

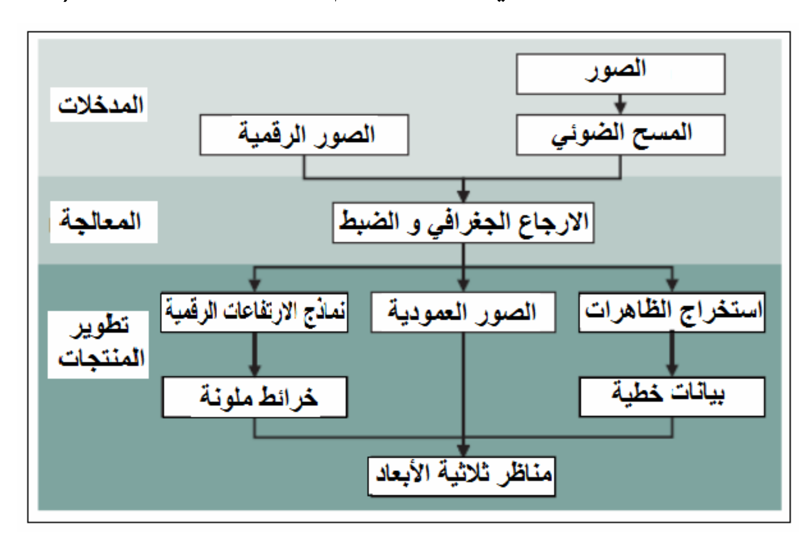
تعد طريقة الترقيم اليدوي manual digitizing أكثر الطرق انتشارا في نظم المعلومات الجغرافية للحصول علي البيانات الخطية. تأتي أجهزة المرقمات digitizers في عدة صور وأحجام تتراوح ما بين ٣٠×٦٠ سنتيمتر إلي ١١٢×١٥٢ سنتيمتر (الشكل ٩-٦ أ). تعتمد فكرة عمل هذه الأجهزة علي إمكانية تتبع حركة الفارة أو الماوس أثناء حركته علي طاولة الترقيم (المثبت عليها الخريطة الورقية) ونقل هذه الحركة إلي الكمبيوتر. وتتراوح دقة المرقمات بين ٠.٠٠٠٤ بوصة (٠.٠١ ملليمتر) إلي ٠.٠١ بوصة (٠.٢٥ ملليمتر). ومع طاولة الترقيم يوجد ماوس خاص بالمرقم يسمح بالتحديد الدقيق للنقاط علي الخريطة (الشكل ٩-٦ ب). ويعد الترقيم اليدوي أسهل و أرخص طرق الحصول علي البيانات الخطية من الخرائط الورقية.



شكل (٩-٦) مثال لجهاز المرقم

يستخدم المسح الضوئي كمقدمة لعملية تحويل البيانات الشبكية إلي بيانات خطية (عملية vectorization)، ويعد الترقيم من الشاشة on-screen digitizing أسهل أساليب هذه العملية. في هذا الأسلوب يتم استخدام صورة الخريطة الناتجة من جهاز الماسح الضوئي كخلفية علي شاشة الكمبيوتر (بعد إتمام الإرجاع الجغرافي لها) ثم يستخدم الماوس لرسم كل معلم أو ظاهرة علي هذه الصورة، وتخزين الناتج في ملف بيانات شبكية (نقاط أو خطوط أو مضلعات). كما توجد برامج مخصصة software لعمل الترقيم الآلي أو الأوتوماتيكي بسرعة أكبر كبيرة مقارنة بالترقيم اليدوي. لكن تجدر الإشارة إلي أن هذه البرامج غير دقيقة تماما مما يتطلب قيام المستخدم بنفسه بعمليات تعديل لاكتشاف و تنقية أخطاء الترقيم الآلي.

المساحة الجوية أو المساحة التصويرية photogrammetry هي علم و تقنية عمل القياسات الدقيقة من الصور الجوية. وتقليديا يتم عمل القياسات ثنائية الأبعاد (x,y) من الصور الجوية العادية، لكن من الممكن عمل القياسات ثلاثية الأبعاد (x,y,z) من الصور الجوية المزدوجة التي يكون بها منطقة تداخل بين كل صورتين متتاليتين. وهذا النوع من الصور الجوية يسمح بقياس الارتفاعات و تطوير الخرائط الكنتورية و المجسمات ثلاثية الأبعاد و نماذج الارتفاعات الرقمية. ولإتمام الإرجاع الجغرافي للصور الجوية يتم الاعتماد علي نقاط الثوابت الأرضية معلومة الإحداثيات (سواء باستخدام المساحة الأرضية أو تقنية الجي بي أس). ويتم استخدام أجهزة الراسمات المزدوجة stereo-plotters للقياس من الصور الجوية المزدوجة (المتداخلة) والحصول علي البيانات الخطية. وحاليا يستخدم علم و أجهزة المساحة التصويرية الرقمية digital photogrammetry للحصول علي البيانات الخطية في صورة رقمية من الصور الجوية واستخدامها في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية (الشكل ٩-٧).



شكل (٩-٧) خطوات المساحة التصويرية الرقمية

٩-٤ الحصول على البيانات من مصادر خارجية

من أهم القرارات عند إنشاء نظام معلومات جغرافي الإجابة علي السؤال: هل البيانات سيتم تجميعها أم سيتم الحصول عليها من مصدر خارجي؟. فالطرق السابقة كلها تركز علي بناء قواعد البيانات بطرق رئيسية أو ثانوية، لكن من الممكن - كطريق آخر - الحصول علي البيانات المطلوبة من مصدر خارجي و نقلها إلي نظام المعلومات الجغرافي فيما يعرف باسم عملية نقل البيانات data transfer.

توجد عدة جهات (علي المستوي العالمي) تقدم أنواع من البيانات الجغرافية في صورة رقمية مباشرة، مثل هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS وهيئة المساحة العسكرية الأمريكية NGA ووكالة الفضاء الأمريكية NASA وهيئة حماية البيئة الأمريكية EPA ونماذج الارتفاعات الرقمية العالمية مثل SRTM, ASTER ، بالإضافة لمنتجات شركة ايزري. وكل هذه الأمثلة و غيرها يمكن الاستدلال عليها من شبكة الانترنت ومعرفة دقة كل منتج وهل هو مجاني أم لا.

في مرحلة تجميع البيانات لأي مشروع نظام معلومات جغرافي يجب دراسة الطرق المتاحة للحصول علي البيانات والمقارنة بينها علي ثلاثة مستويات: الدقة، والسرعة، و الثمن. فمن الممكن الحصول علي البيانات بدقة عالية لكنه سيكون مكلفا من جهة النظر الاقتصادية. أيضا فمن المتوقع أن تتناسب دقة البيانات مع دقة و أهداف وطبيعة المشروع ذاته. وعادة يتم تنفيذ مرحلة جمع البيانات في منطقة تجريبية صغيرة وتقويم كل خطوة من الخطوات قبل بدء العمل الفعلي للمنطقة الجغرافية المطلوبة بالكامل.

الفصل العاشر

إنشاء و صيانة قواعد البيانات الجغرافية

١٠-١ مقدمة

تعد قاعدة البيانات database مجموعة متكاملة أو متحدة من البيانات عن موضوع محدد. أما قاعدة البيانات الجغرافية geo database فهي مجموعة من البيانات الجغرافية أو المكانية عن بقعة مكانية محددة و موضوع محدد. وتعد قاعدة البيانات الجغرافية من أهم مكونات نظام المعلومات الجغرافي بناءا علي عاملين: (١) تكلفة إنشاء و صيانة قاعدة البيانات الجغرافية، (٢) تأثير طبيعة قاعدة البيانات الجغرافية علي ما يمكن تطبيقه من تحليلات و نمذجة و اتخاذ القرار. ويتم تخزين قواعد البيانات الجغرافية إما في ملفات منفصلة أو في قاعدة بيانات واحدة يمكن إدارتها من خلال برامج إدارة قواعد البيانات Data Base Management Systems (DBMS)، والاختيار الأخير هو المطبق في الجهات والمؤسسات الكبرى حيث يمكن لعدد من المستخدمين استخدام نفس البيانات في نفس الوقت وأيضا للحصول علي مستويات عالية من الأمان.

حديثا أصبحت قواعد البيانات الجغرافية ضخمة الحجم و معقدة للغاية، فعلي سبيل المثال فأن قاعدة بيانات الصور الجوية التي تعطي الولايات المتحدة الأمريكية يصل حجمها إلي ٢٥ تيرابايت، كما يصل حجم قاعدة بيانات مرئيات القمر الصناعي لاندسات للعالم كله (بدقة وضوح مكاني ١٥ متر) إلي ٦.٥ تيرابايت (١ تيرابايت يساوي ١٠٠٠ جيجابايت).

١٠-٢ نظم إدارة البيانات

من الممكن تخزين قواعد البيانات البسيطة المستخدمة من خلال عدد قليل من المستخدمين علي ديسك أو اسطوانة مدمجة في صورة ملفات. لكن قواعد البيانات الضخمة التي يستخدمها العشرات أو المئات بل حتى الآلاف من المستخدمين تتطلب برنامج خاص لإدارتها. إن نظام إدارة البيانات DBMS هو برنامج كمبيوتر مصمم لتنظيم التخزين الكفء والفعال للبيانات و التعامل معها. وتشمل إمكانيات هذا البرنامج:

- وجود نموذج بيانات data model يسمح بتخزين عدة أنواع من بيانات العالم الحقيقي.
- أدوات لتحميل البيانات data load .
- فهرسة البيانات index لسهولة البحث.

- لغة استعلام query للحصول علي بيانات ذات شروط محددة.
- الحصول المشروط علي البيانات من خلال عدة مستويات من الأمان security.
- تحديث البيانات مشروط لمن يملك هذه الصلاحية من المستخدمين.
- عمل نسخ احتياطية من البيانات و استرجاعها backup and recovery.
- أدوات إدارة وصيانة البيانات.
- أدوات التطبيق من خلال واجهة مستخدم قياسية بسيطة للمستخدمين العاديين.
- واجهة برمجه للمستخدمين المبرمجين لإنشاء أدوات خاصة بهم.

بصفة عامة توجد ثلاثة أنواع من قواعد البيانات المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية: قواعد البيانات العلاقية relational DBMS، قواعد البيانات الهدفية object DBMS، وقواعد البيانات العلاقية-الهدفية object-relational DBMS.

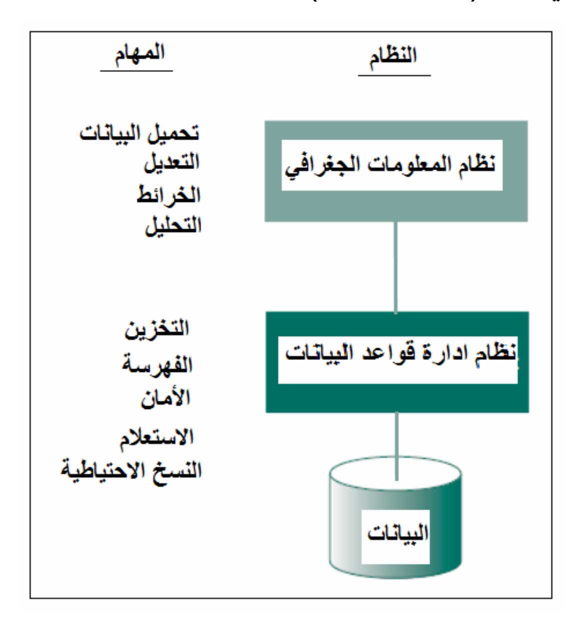
تتكون قواعد البيانات العلاقية من مجموعة من الجداول (كلا منهم عبارة عن مصفوفة) لسجلات البيانات غير المكانية attribute للأهداف قيد الدراسة. ولسهولة تركيب هذا النوع من قواعد البيانات فانه تقريبا يمثل ٩٥% من قواعد البيانات المستخدمة حاليا. أما قواعد البيانات الهدفية فأنها مصممة لمعالجة أحد أوجه النقص في قواعد البيانات العلاقية ألا وهو عدم القدرة علي تخزين السجل الكامل للهدف (حالة الهدف و سلوكه). فقواعد البيانات العلاقية مناسبة لتطبيقات الأعمال البسيطة مثل البنوك وإدارة الموارد البشرية والمخزون ...الخ، وبذلك فهي لا تستطيع تخزين عدة أنواع من البيانات الجغرافية عن نفس الهدف المكاني (مثل الصور الفوتوغرافية و ملفات الفيديو). لكن لم تنتشر قواعد البيانات الهدفية علي مستوي واسع في التطبيق العملي حيث لجأ مستخدمي قواعد البيانات العلاقية (البسيطة) إلي تزويد هذا النوع ببعض إمكانيات ومميزات قواعد البيانات الهدفية لينتجوا نوعا جديدا من قواعد البيانات العلاقية-الهدفية. وتتميز قواعد البيانات العلاقية-الهدفية المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية بعدة إمكانيات للتعامل مع طبيعة البيانات الجغرافية مثل:

- منظم الاستعلام query optimizer: وهو القادر علي الاستعلام عن خصائص جغرافية للأهداف، مثل الإجابة علي السؤال: ما هي المنازل التي تقع علي بعد ٣ كيلومترات من السوق التجاري ويزيد دخل الأسرة فيها عن ١٠،٠٠٠ دولار؟. وهو السؤال الذي يحتوي علي معلومات مكانية (المسافة) ومعلومات غير مكانية (مستوي الدخل) في نفس الوقت.
- لغة استعلام query language: تستطيع التعامل مع أنواع الأهداف الجغرافية (نقاط، خطوط، مضلعات) وطبيعة خصائصها المكانية (مثل الاستعلام عن المضلعات

المتجاورة). وهذه اللغات تسمي لغات الاستعلام التركيبية القياسية structured/standard query أو اختصارا SQL.

- خدمات الفهرسة indexing services: بحيث يمكن فهرسة البيانات الجغرافية في مستويات ثنائية الأبعاد (x,y) وثلاثية الأبعاد (x,y,z).
- إدارة التخزين storage management: يتطلب الحجم الكبير للبيانات الجغرافية نظام إدارة جيد من خلال تركيب ذو كفاءة عالية.

بصفة عامة يوجد نوعين من قواعد البيانات المستخدمة في معظم نظم المعلومات الجغرافية وهما نوع DB2 من شركة IBM، ونوع Spatial Oracle من شركة أوراكل. وتجدر الإشارة إلي نظام إدارة البيانات ليس نظام معلومات جغرافي في حد ذاته إلا أنه مكون أساسي من مكونات هذا النظام. فنظام إدارة البيانات هو المسئول عن اخزين و استرجاع و إدارة البيانات، لكنه لا يستطيع التعامل (التعديل و التحليل) مع البيانات الجغرافية ذاتها فهذا دور نظام المعلومات الجغرافي ذاته (الشكل ١٠-١).



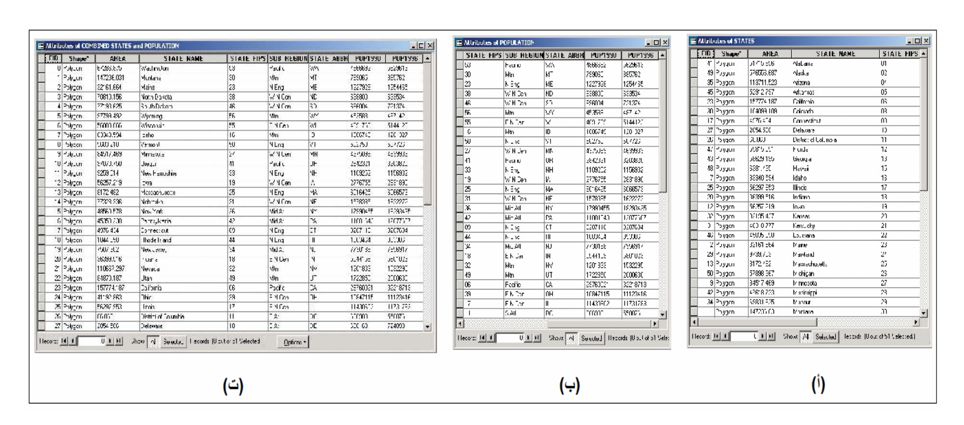
شكل (١٠-١) دور نظام المعلومات الجغرافي و نظام إدارة البيانات

١٠-٣ تخزين البيانات في جداول قواعد البيانات

إن ابسط طرق تخزين البيانات الجغرافية هو التخزين في فئات classes أو طبقات layers أو فئات الأهداف feature classes، فالفئة هي عبارة عن مجموعة من البيانات عن مفردات ظاهرة جغرافية معينة (مثل مجموعة خطوط الأنابيب في شبكة مياه، أو مجموعة مضلعات أنواع التربة في وادي، أو مجموعة نقاط مناسيب في سطح تضاريسي). ويتم تخزين

كل فئة في جدول table في نظام إدارة البيانات، حيث كل جدول يتكون من مصفوفة من السطور و الأعمدة. تمثل الصفوف في الجدول الأهداف (المفردات) لمجموعة الظاهرات المكانية، بينما تمثل الأعمدة خصائص كل هدف من هذه الأهداف (الشكل ١٠-٢ أ). وتتميز قواعد البيانات الجغرافية عن غيرها من قواعد البيانات بوجود عمود هندسي يمثل النوع الهندسي (غالبا يسمي عمود الشكل shape column) للهدف. ولزيادة كفاءة التخزين والأداء فأن إحداثيات كل هدف يتم تخزينها في صورة ثنائية binary (وليس صورة نصية text) في ملف مضغوط في قاعدة البيانات.

يتم ربط الجداول معا join من خلال عمود أساسي (يسمي عمود المفتاح key) حيث تكون قيمة هذا العمود واحدة لنفس الهدف في أكثر من جدول. فعلي سبيل المثال فالجدول في الشكل ١٠-٢-أ يمثل البيانات الأساسية للولايات الأمريكية، بينما الجدول في الشكل ١٠-٢-ب يمثل أعداد السكان. وفي كلا الجدولين يوجد عمود المفتاح STATE_FIPS الذي يمكننا من ربط بيانات نفس الولاية في كلا الجدولين. أما الشكل ١٠-٢-ت فهو جدول متكامل إذا تخيلنا أن كلا الجدولين قد ضمهما معا.

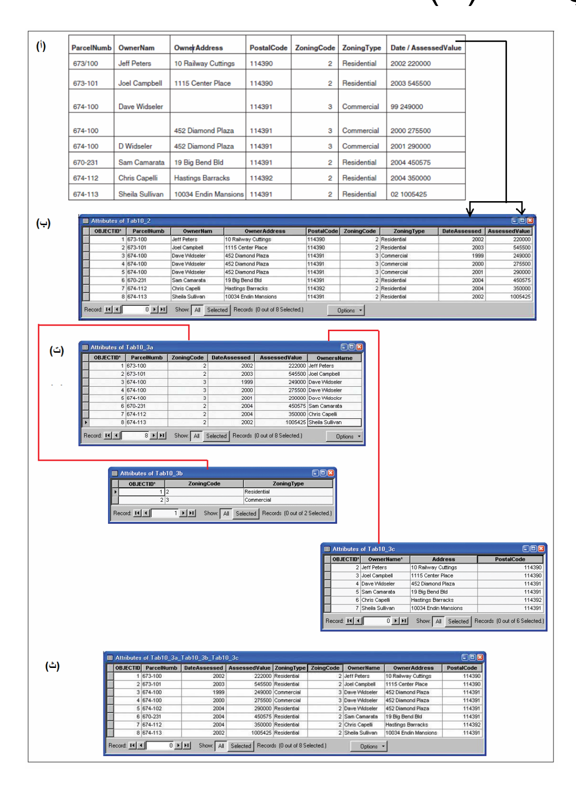


شكل (١٠-٢) نموذج لجداول قواعد البيانات الجغرافية

في السبعينات من القرن العشرين الميلادي قدم Ted Codd من شركة IBM خمسة قواعد لتركيب قواعد البيانات العلاقية لزيادة كفاءتها وتشمل:

١. توجد قيمة واحدة فقط في الخلية التي يتقاطع عندها العمود من السطر.
٢. كل قيم العمود الواحد تتعلق بموضوع واحد.
٣. كل سطر متفرد (أي لا يوجد ازدواج في السجلات).
٤. ترتيب السطور غير مؤثر.
٥. ترتيب الأعمدة غير مؤثر.

والشكل (١٠-٢) يقدم مثالا توضيحيا لتطبيق هذه المبادئ الخمسة في قواعد البيانات الجغرافية، ففي الشكل (أ) يمثل الجدول قاعدة بيانات تقدير الضرائب، وفي الشكل (ب) تم تمثيل هذه القاعدة في قاعدة بيانات نظام معلومات جغرافي حيث تم تقسمه العمود الأخير في الجدول الأصلي إلي عمودين منفصلين تطبيقا للمبدأ الأول من المبادئ الخمسة، مع إضافة عمود المفتاح OBJECTID، وفي الشكل (ت) تم تجزئة قاعدة البيانات إلي ثلاثة جداول منفصلة لتتناسب مع تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب مع وجود عمود مفتاح مشترك لربط البيانات بين الجداول الثلاثة، وعند تطبيق عملية الربط join بين الجداول الثلاثة نحصل علي الجدول المجمع في الشكل (ث).



شكل (١٠-٣) نموذج لقواعد البيانات الجغرافية في مجال تقدير الضرائب

١٠-٤ لغة الاستعلام SQL

تعد لغة الاستعلام التركيبية القياسية Structured/standard Query Language (أو اختصارا SQL) هي اللغة القياسية المطبقة في معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية. وعادة فأن استعلامات SQL يتم تنفيذها compilation من خلال واجهة مستخدم رسومية حيث تكون عمليات التنفيذ مخفية وتظهر نتيجة الاستعلام مباشرة للمستخدم. وتتكون أوامر أو جمل statements لغة SQL من ثلاثة أنواع: لغة تحديد البيانات data definition language (DDL)، لغة إدارة البيانات data manipulation

language (DML)، و لغة التحكم في البيانات data control language (DCL). وعلي سبيل المثال فالشكل ١٠-٤ يمثل استعلام SQL للبحث عن قطع الأراضي من النوع السكني و التي تزيد قيمة الضريبة لها عن ٣٠٠٠ دولار. وبالطبع هناك كتب متخصصة في تعلم لغة SQL للمستخدمين (وهذا ليس من أهداف الكتاب الحالي).

```
SELECT Tab10_3a.ParcelNumb, Tab10_3c.Address,
   Tab10_3a.AssessedValue
FROM (Tab10_3b INNER JOIN Tab10_3a ON
   Tab10_3b.ZoningCode =
   Tab10_3a.ZoningCode) INNER JOIN Tab10_3c
   ON Tab10_3a.OwnersName =
   Tab10_3c.OwnerName
WHERE (((Tab10_3a.AssessedValue)>300000) AND
   ((Tab10_3b.ZoningType)="Residential"));
```

شكل (١٠-٤) مثال للاستعلام باستخدام لغة SQL

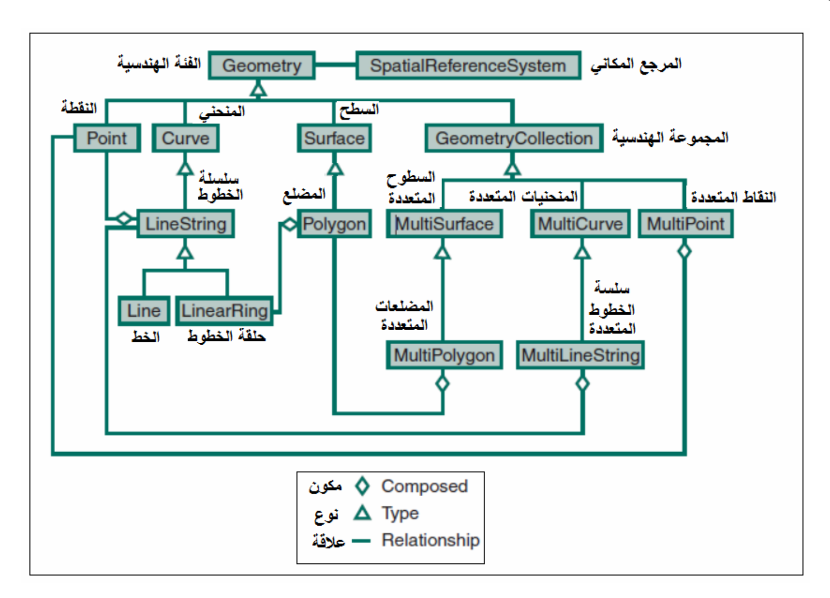
١٠-٥ أنواع ووظائف قواعد البيانات الجغرافية

توجد عدة محاولات لتحديد أنواع ووظائف البيانات الجغرافية في صورة قياسية لتمثيل و استخدام هذه البيانات في قواعد البيانات. ومن أهم هذه المواصفات القياسية تلك التي طورتها المنظمة الدولية للمعايير القياسية ISO واللجنة الدولية للمعلومات المكانية OGC، وهو ما سنتعرض له في هذا الجزء.

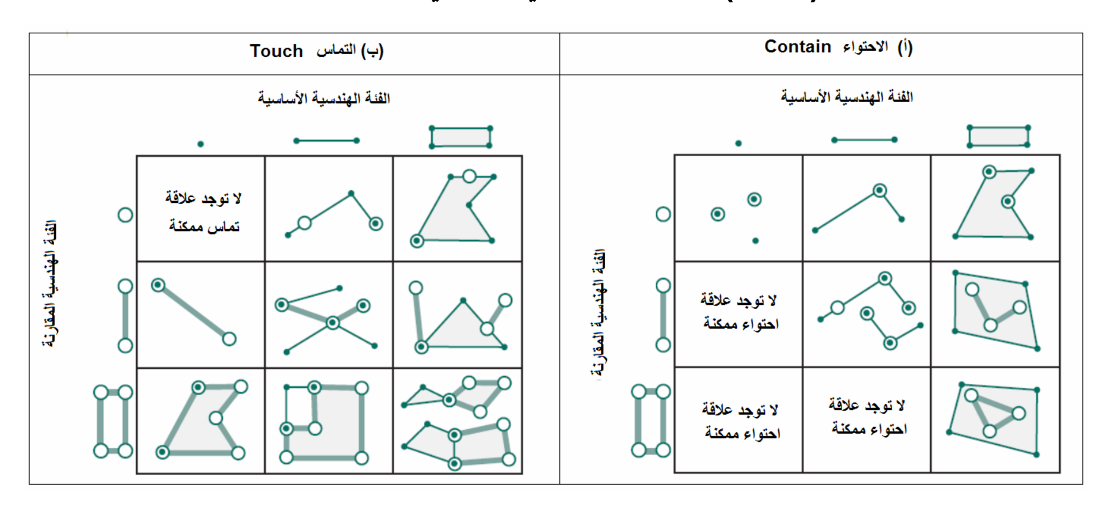
تم تحديد أنواع ووظائف البيانات الجغرافية المستخدمة في قواعد البيانات في الصورة الهرمية الهندسية الممثلة في الشكل ١٠-٥. فالفئة الهندسية geometry class هي الأساس، ويوجد معها مرجع مكاني spatial reference (نظام إحداثيات و نظام إسقاط). وتشمل الأنواع الفرعية أو الثانوية للفئة الهندسية كلا من: النقطة point، المنحني curve، السطح surface، والمجموعة الهندسية geometry collection. أما الفئات الأخرى (المربعات) و العلاقات (الخطوط) في الشكل فتمثل كيفية إنشاء فئة هندسية لنوع محدد من الفئات الأخرى، فمثلا سلسلة الخطوط line string هي مجموعة من النقاط.

بناءا علي هذه المعايير القياسية فهناك تسعة طرق لاختبار العلاقات المكانية بين هذه الأهداف الهندسية، وكل طريقة تعتمد علي اثنين من المدخلات input لعمل تقويم أو اختبار إن كانت العلاقة حقيقية أم لا. وعلي سبيل المثال فالشكل ١٠-٦ يوضح مثاليين للعلاقات المكانية الممكنة بين النقاط و الخطوط و المضلعات. ففي الشكل (أ) نري حالة الاحتواء contain بين النقاط، فهناك دوائر الدوائر الكبيرة التي تحتوي داخلها دوائر صغيرة. أما الشكل (ب) فيوضح

حالة التلامس touch بين الخطوط والمضلعات، فنري الخطين يلامسان المضلع حيث أنهما يقطعان حدوده.



شكل (١٠-٥) التركيب الهيكلي الهرمي للفئات الهندسية



شكل (١٠-٦) مثال للعلاقات المكانية الممكنة بين فئتين هندسيتين

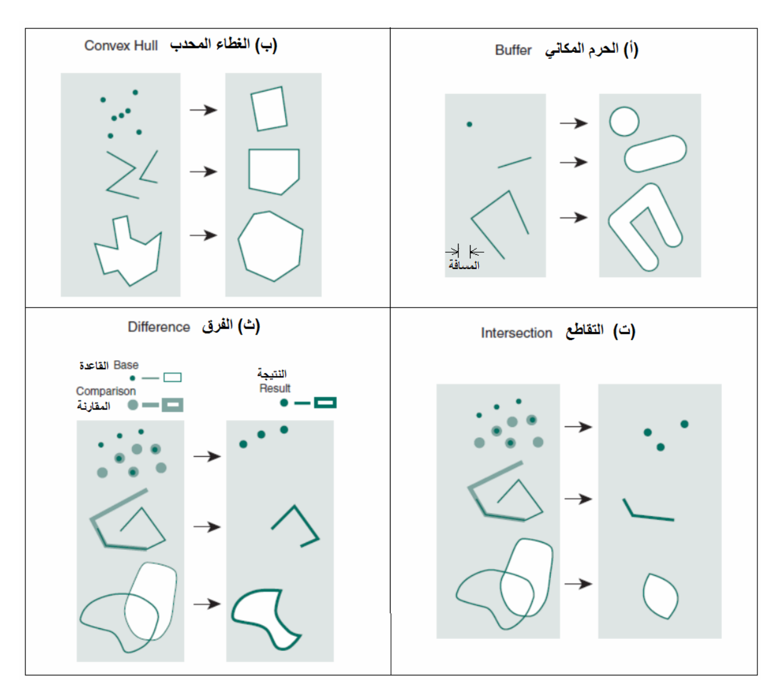
كما تشمل المعاملات المنطقية (أو المعاملات غير الجبرية) Boolean operators لاختبار العلاقات المكانية أيضا:

- التساوي equal: هل الفئة الهندسية واحدة؟
- الفصل disjoin: هل الفئات الهندسية تتقاطع نقطة مشتركة؟
- التقاطع intersect: هل الفئات الهندسية تتقاطع؟
- التلامس touch: هل الفئات الهندسية تتقاطع في حدودها؟
- العبور cross: هل الفئات متداخلة؟

- الداخل within: هل فئة داخل فئة أخري؟
- الاحتواء contain: هل فئة تقع بالكامل داخل فئة أخري؟
- التداخل overlap: هل تتداخل فئتين؟
- الاتصال relate: هل التقاطعات بين الحدود الداخلية أم خارج الفئة؟

هناك سبعة طرق تدعم التحليل المكاني للعلاقات الهندسية (المنطقية) للفئات الهندسية وتشمل (الشكل ١٠-٧):

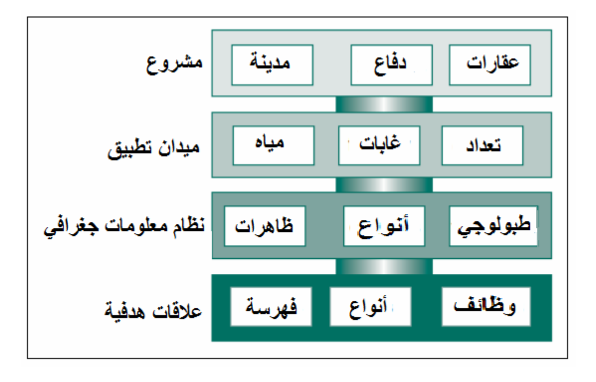
- المسافة distance: قياس أقصر مسافة بين أي نقطتين في فئتين.
- الحرم المكاني buffer: تحديد فئة تمثل جميع النقاط التي لها مسافة أقل من أو تساوي المسافة التي يحددها المستخدم.
- التقاطع intersection: تحدد فئة تضم كل النقاط المشتركة فقط من كلا الفئتين الأساسيتين.
- الاتحاد union: تحدد فئة تضم كل النقاط من كلا الفئتين الأساسيتين.
- الفرق difference: تحدد فئة تضم النقاط المختلفة بين كلا الفئتين الأساسيتين.
- الفرق التماثلي systematic difference: تحدد فئة تضم النقاط الموجودة في احدي (وليس كلا) الفئتين الأساسيتين.
- الغطاء المحدب convex hull: تحدد فئة تمثل غطاء محدب لفئة أخري (أي أصغر مضلع يمكنه تغليف أو تطويق فئة أخري بدون وجود أية أجزاء مقعرة).



شكل (١٠-٧) مثال لبعض طرق التحليل المكاني

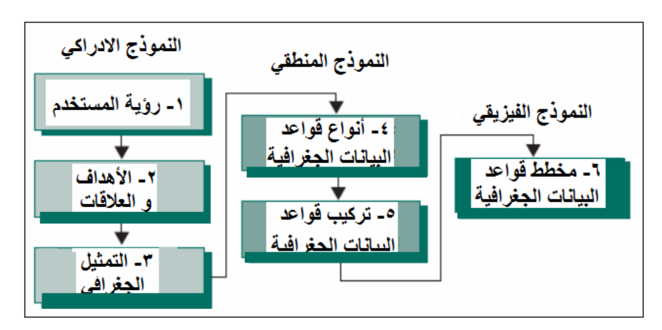
١٠-٦ تصميم قواعد البيانات الجغرافية

إن كل نظام معلومات جغرافي و كل نظام إدارة قواعد البيانات لديه نموذج بيانات أساسي يحدد أنواع الأهداف و العلاقات التي يمكن استخدامها في أي تطبيق (الشكل ١٠-٨). ويكون برنامج إدارة قواعد البيانات هو الذي يحدد و يقوم بتطبيق نموذج أنواع البيانات ووسائل الوصول إليها مثل استخدام لغة الاستعلام SQL، حيث يسمح هذا البرنامج بالتعامل مع أنواع الظاهرات البسيطة (النقاط و الخطوط و المضلعات) وأيضا العلاقات المكانية. ثم يأتي نظام المعلومات الجغرافي ليبني فوق هذه الأهداف البسيطة ليطور منها أهدافا وعلاقات متقدمة و معقدة مثل شبكات المثلثات غير المنتظمة TIN والبناء الطبولوجي. ويتم دمج أنواع نظم المعلومات الجغرافية مع نماذج البيانات لميادين التطبيق، التي تحدد فئات و مجالات التطبيق (مثل شبكات المياه وخرائط الملكيات ..الخ). وأخيرا تقوم المشروعات الخاصة بإنشاء النموذج الفيزيقي للبيانات. فعلى سبيل المثال ستقوم إدارة تخطيط المدينة بإنشاء قاعدة بيانات لخطوط الصرف الصحي مستخدمة نموذج البيانات الأساسي لهذه الشبكة (أي كقالب template) لبناء كلا من نظام المعلومات الجغرافي و نظام إدارة قواعد البيانات.



شكل (١٠-٨) أربعة مستويات لنماذج البيانات في مشروعات نظم المعلومات الجغرافية

يشمل تصميم قواعد البيانات الجغرافية تطوير ثلاثة نماذج: النموذج الإدراكي conceptual والنموذج المنطقي logical و النموذج الفيزيقي أو الطبيعي physical، وذلك من خلال ستة خطوات عملية كما في الشكل (١٠-٩).



شكل (١٠-٩) مراحل تصميم قواعد البيانات الجغرافية

يبدأ النموذج الإدراكي بنموذج رؤية المستخدم user's view وهو الذي يحدد طبيعة وظائف المؤسسة أو الجهة التي ستتعامل مع قاعدة البيانات الجغرافية وأيضا تحديد نوعية البيانات التي تتطلبها هذه الوظائف، مع تقسيم البيانات إلي مجموعات لتسهيل عمليات إدارة البيانات. ويمكن جمع هذه المعلومات إما في تقارير أو رسومات بيانية. ثم تأتي الخطوة الثانية لتحديد الأهداف و العلاقات objects and relationships وتهدف لتحديد أنواع الأهداف (الفئات) والعلاقات بينهم وأيضا الوظائف المنشودة. أما الخطوة الثالثة فتتكون من اختيار طريقة التمثيل الجغرافي (الأهداف المنفصلة أو المجالات المتصلة) المناسبة للتطبيق قيد الدراسة.

يهدف النموذج المنطقي لعمل ملائمة بين أنواع الأهداف و طرق تمثيل البيانات (أي أنواع قواعد البيانات) المستخدمة في نظم المعلومات الجغرافية. ثم تأتي بعد ذلك خطوة تركيب أو تكوين قاعدة البيانات مثل تحديد العلاقات الطبولوجية و تحديد نوع نظم الإحداثيات و نزع المسقط المستخدم. وفي الخطوة الأخيرة يتم بناء النموذج الفيزيقي للبيانات من خلال تكوين مخطط أو نموذج تطبيقي schema لقاعدة البيانات في صورتها النهائية المطلوبة.

الفصل الحادي عشر

نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية

١١-١ مقدمة

قديما كانت أسعار أجهزة الكمبيوتر مكلفة جدا مما كان يضطر الجهات و المؤسسات لجعل خدمات الكمبيوتر في صورة مركزية (إدارة ومكاتب محددة) وجعل المستخدمين يأتون لهذا المكان ليتعاملوا مع البيانات. وتغير هذا الوضع الآن مع رخص أسعار أجهزة الكمبيوتر، ومن ثم أصبحت هناك إمكانية أن يكون كل جزء من مكونات نظم المعلومات الجغرافية (الشكل ١-٣) متواجدين في عدة أماكن منفصلة، ومن هنا ظهر مصطلح نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية distributed GIS. وقد سبق الذكر في الفصل السابع أن هناك عدة هيئات لنظم المعلومات الجغرافية، وهي تعد أمثلة لهذا المفهوم الجديد في علم نظم المعلومات الجغرافية. فهناك العديد من الشركات المنتجة لبرامج نظم المعلومات الجغرافية تطور برامج خاصة تسمح بالعمل علي الأجهزة المحمولة يدويا (مثل الألواح الكفية PDA و أجهزة الجي بي أس). وهذه الأنواع من الأجهزة صارت واسعة الاستخدام لجمع المعلومات الميدانية أو الحقلية ثم إرسالها upload للمكتب أو الكمبيوتر الرئيسي (الشكل ١١-١). أيضا تتيح مثل هذه البرامج ما يعرف باسم نظم المعلومات الجغرافية للخادم Server GIS أو نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت Internet GIS، والتي تتيح للمستخدمين الولوج لقاعدة البيانات الجغرافية من بعد.



شكل (١١-١) تجميع البيانات ميدانيا في نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية

١١-٢ توزيع البيانات

منذ انتشارها في بداية التسعينات من القرن العشرين الميلادي أصبح لشبكة الانترنت العديد من التأثيرات الهائلة علي الوصول لبيانات نظم المعلومات الجغرافية، مما نتج عنه قدرة المستخدمين علي مشاركة قواعد البيانات. يمكن القول أن الانترنت قد أنهت ذلك العصر الذي لم تكن فيه المعلومات الجغرافية متوافرة إلا من خلال الخرائط الورقية. والآن أصبحت هناك مواقع علي الانترنت يصل حجم المعلومات المكانية بها إلي البيتابايت betabyte (حيث يمكن تخزين محتويات مليون ونصف مليون اسطوانة مدمجة CD).فعلي سبيل المثال فأن موقع نظم بيانات و معلومات أرصاد الأرض EOSDIS الممول من وكالة الفضاء الأمريكية ناسا يقوم بتوزيع بيانات و صور أقمار صناعية تصل إلي ما يزيد عن التيرابايت يوميا.

يعد نوع "بيانات مستوي الهدف object-level metadata" أو اختصارا OLM من أهم أنواع فهرسة البيانات التوزيعية، فيمكن تخيله كما لو كان "أرشيف مكتبة" يمكن المستخدم من سرعة البحث عن كتاب معين. وفي نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية distributed GIS يعمل نموذج OLM علي إتمام البحث بسرعة عالية بالإضافة للتأكد من وجود قاعدة البيانات التي تفي بمتطلبات المستخدم، فمثلا تحديد مستوي الوضوح المكاني spatial resolution لقاعدة البيانات وهل هي مناسبة للاستعلام المحدد من قبل المستخدم أم لا. كما يؤدي نموذج OLM وظيفة ثالثة ألا وهي إمداد المستخدم ببعض البيانات التقنية الهامة، مثل صيغة البيانات التي تم العثور عليها و اسم برنامج الكمبيوتر الذي يصلح للتعامل معها. وبالطبع فأن إنشاء نموذج "بيانات مستوي الهدف OLM" لقواعد البيانات الجغرافية يتطلب مستوي عالي من الخبرة التقنية، كما يتطلب التقيد بمواصفات قياسية تلتزم بها جميع الشركات المنتجة للبرامج. والمواصفات القياسية الواسعة الانتشار هي تلك التي طورتها اللجنة الأمريكية للبيانات الجغرافية الرقمية CSDGM التي تم نشرها لأول مرة في عام ١٩٩٣م (١٤١٢ هـ). وعلي سبيل المثال فأن برنامج Arc GIS يستخدم صيغتين لنماذج OLM إحداهما باستخدام لغة XLM واسعة الانتشار، والأخرى باستخدام صيغة خاصة بشركة ايزري ذاتها.

تختلف قواعد البيانات الجغرافية في طبيعتها عن أيه أنواع أخري من البيانات، ومن ثم فأن البحث في قواعد البيانات الجغرافية يعتمد علي أولا علي طبيعة البيانات ثم لاحقا علي خاصيتين: الموقع و الزمن. فعند البحث في قواعد البيانات الجغرافية الرقمية الضخمة فأن البداية تكون بتحديد "مجال coverage" لقاعدة البيانات، ثم لاحقا يتم البحث داخل هذه المجموعة من البيانات عن البيانات التي تفي بمعايير الموقع و التاريخ المحددين من قبل

المستخدم. ومن هنا ظهر مصطلح "المكتبة الجغرافية geo-library" ليصف المكتبات الرقمية التي يمكن البحث داخلها عن أية بيانات مكانية عن موقع جغرافي محدد.

أيضا يوجد نوع آخر من أنواع الفهرسة في نظم المعلومات الجغرافية التوزيعية وهو المعروف باسم بيانات مستوي المجموعة collection-level metadata أو اختصارا CLM. هذه الطريقة تعتمد علي وصف "مجموعة" من قواعد البيانات وليس قاعدة بيانات واحدة مثل الطريقة السابقة، مما يجعل عملية البحث تتم بصورة أسرع و أكفأ.

١١-٣ نظم المعلومات الجغرافية المحمولة

أصبحت أجهزة الكمبيوتر جزءا هاما من حياتنا اليومية، وهناك من لا يستطيع تخيل الحياة بدون جهاز كمبيوتر! ومع بداية الثمانينات من القرن العشرين الميلادي ظهر الكمبيوتر المحمول ليفتح آفاقا جديدة لم تكن معروفة من قبل. ثم ظهرت شبكات البيانات اللاسلكية (مثل الواي فاي WiFi) لتتيح تبادل البيانات بين الأجهزة والدخول علي شبكة الانترنت بصورة لاسلكية. وأتسع مجال الأجهزة المحمولة بصورة كبيرة ليشمل أجهزة اللوح الكفي PDA والتابلت tablet وأجهزة التليفون المحمول (الموبايل أو الجوال) .... وغيرها الكثير. ومن المتوقع انتشار ما يعرف باسم الكمبيوتر الملبوس wearable computer في السنوات القليلة القادمة، حيث ستكون أجزاء الكمبيوتر مدمجة في ملابس المستخدم (مثل ساعة اليد و الحزام و النظارة ...الخ) ليكون هذا الجهاز مع المستخدم أينما كان (الشكل ١١-٢).



شكل (١١-٢) الكمبيوتر الملبوس: الجيل الجديد من الكمبيوتر

مع انتشار تطبيقات تقنية النظام العالمي لتحديد المواقع (الجي بي أس) ظهرت نوعية جديدة من أجهزة الاستقبال مخصصة لتجميع البيانات في إطار نظم المعلومات الجغرافية. وتتميز هذه المجموعة الجديدة من الأجهزة بعدة خصائص تناسب هذا التطبيق أو الاستخدام الحديث. فمن حيث الدقة كانت الأجهزة الملاحية التقليدية (المحمولة يدويا) تتراوح دقتها في حدود عدة أمتار قليلة، بينما كانت الأجهزة الجيوديسية تصل في دقتها الي عدة ملليمترات. وعلي الجانب الآخر فقد كانت أسعار الأجهزة الهندسية مرتفعة بدرجة تجعلها غير مناسبة لمشروعات نظم المعلومات الجغرافية. من هنا فقد تميزت المجموعة الجديدة من الأجهزة بوصولها الي دقة متوسطة (عدة ديسيمترات) مع أسعار متوسطة أيضا تجعلها اختيارا مناسبا لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية. أما ثاني مميزات هذه النوعية من أجهزة الجي بي أس فتمثل في ظهور إصدارات جديدة من برامج نظم المعلومات الجغرافية مخصصة للتثبيت و العمل علي هذه الأجهزة (مثل برنامج ArcPAD من شركة ايزري). ومن ثم فقد أصبح تسجيل البيانات غير المكانية attribute data متاحا أثناء العمل الميداني مع تحديد مواقع أو إحداثيات المظاهر المكانية المرصودة. كما توافرت إمكانيات لتصدير ملفات البيانات الميدانية إلي صيغ تتعامل مباشرة مع برامج نظم المعلومات الجغرافية الشهيرة (مثل صيغة shapefiles). أيضا تتميز بعض هذه الأجهزة بوجود وسائل نقل بيانات متعددة (من خلال البلوتوث أو الواي فاي) لتوفر نقل البيانات بين الأجهزة و الحاسبات بصورة سريعة دون الحاجة لكابلات نقل البيانات التقليدية. كما يمكن لهذه النوعية من الأجهزة أن تتواصل مع شبكات بث تصحيحات الجي بي أس (نظم الازدياد) من خلال شريحة تليفون محمول تمكنها من الولوج لشبكة الانترنت مباشرة في الموقع. ومع وجود كاميرا رقمية مدمجة داخل جهاز الجي بي أس أصبح تسجيل صور المعالم المرصودة ميدانيا في نفس الوقت أسهل وأسرع.

ويمكن تقسيم هذه الأجهزة إلي فئتين رئيسيتين من حيث دقة إحداثيات المواقع المرصودة:

- أجهزة تصل دقتها إلي ما دون مستوي المتر الواحد وتعتمد في طريقة عملها علي أسلوب خط القاعدة المتبع في القياسات المساحية الدقيقة حيث يوجد جهاز ثابت static يحتل نقطة معلومة الإحداثيات بينما يتحرك الجهاز الثاني rover لرصد النقاط أو المعالم الجديدة. ويقوم الجهاز الثابت بحساب أخطاء إشارات الأقمار الصناعية عند النقطة المعلومة ليستفيد منها الجهاز المتحرك (إما لحظيا من خلال بث التصحيحات أو لاحقا في المكتب في خطوة الحساب data processing) للوصول إلي دقة ديسيمترات في إحداثيات النقاط الجديدة.

- أجهزة تعمل بمفردها stand alone بحيث لا يكون هناك إلا جهاز واحد فقط يمكنه الوصول إلي دقة ٢-٥ متر، مع الاحتفاظ بكافة المميزات الأخرى لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية.

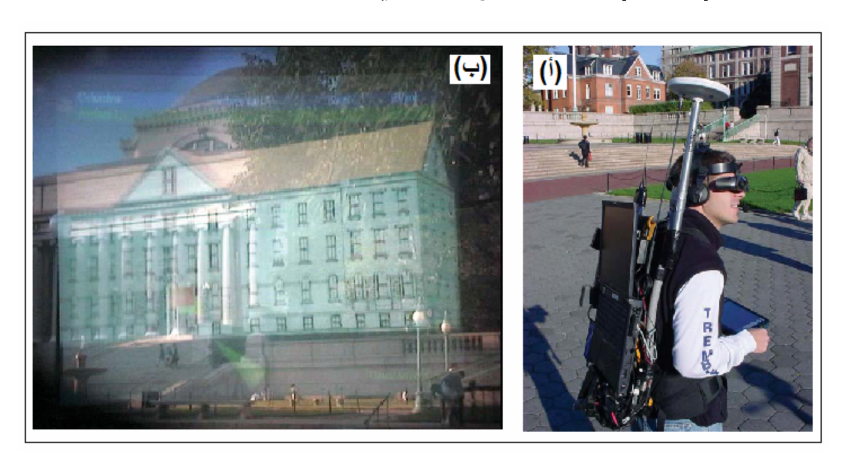


شكل (١١-٣) نماذج لأجهزة الجي بي أس المخصصة لنظم المعلومات الجغرافية

ظهر مصطلح الحقيقية التخيلية أو الواقع التخيلي Virtual Reality (أو اختصارا VR) ليدل علي تطبيق خاص من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في السنوات الماضية. هذا التطبيق يسمح بإمداد المستخدم بمحتويات قاعدة بيانات بصورة مجسمة أو ثلاثية الأبعاد، من خلال نظارات خاصة أو بإسقاط هذه المعلومات علي حائط بجانب المستخدم، مما يسمح للمستخدم بالانتقال (التخيلي) إلي بيئة أخري أو واقع آخر تمثله هذه البيانات. فعلي سبيل المثال يمثل الشكل (١١-٤) نموذج ثلاثي الأبعاد قام بتطويره معمل الواقع الافتراضي بجامعة كاليفورنيا الأمريكية، وهو يمثل كاتدرائية سانتا ماريا في مدينة روما الايطالية (والتي دمرت في عام ٤٤٠ ميلادي). ثم تلا ذلك ابتكار تقنية جديدة في تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية تحت مسمي الحقيقية المدمجة أو الواقع المدمج Augmented Reality (أو اختصارا AR) حيث يتم دمج معلومات من قاعدة بيانات مع حواس المستخدم ذاته. ففي هذا النوع من التطبيقات يمكن للمستخدم أن يتخطى ما يراه في العالم الحقيقي لكي يري معلومات مصورة من عالم آخر (مثل معلومات تاريخية أو معلومات مستقبلية تخيلية). فالشكل (١١-٥) يمثل نموذجا للواقع المدمج AR حيث يوجد جهاز جي بي أس لتحديد المواقع ونظام معلومات جغرافي يحتوي معلومات تفصيلية عن البيئة أو الواقع التخيلي. وفي هذا المثال فأن المستخدم يسير في موقع محدد (أ) بينما يري بصورة تخيلية ما كان يحتويه هذا المكان في فترة تاريخية سابقة (ب).



شكل (١١-٤) مثال للواقع التخيلي أو الحقيقية التخيلية VR



شكل (١١-٥) مثال للواقع المدمج أو الحقيقة المدمجة AR

من الأنواع الأخرى لنظم المعلومات الجغرافية المحمولة ما يعرف باسم الخدمات المعتمدة علي الموقع Location-Based Services (أو اختصارا LBS). وُيعرف نظام الخدمات المعتمدة علي الموقع بأنه خدمة معلوماتية تقدم من خلال جهاز قادر علي تحديد الموقع وقادر أيضا علي تعديل هذه المعلومات المعروضة. وتعد أبسط أنواع هذه الأجهزة هي التي تحتوي جهاز جي بي أس لتحديد المواقع مع جهاز كمبيوتر محمول للوصول إلي قاعدة بيانات الخدمة، ويكون غالبا مجهز بكارت PCMCIA للاتصال بالانترنت لحظيا. ومن أهم التطبيقات التي أدت لظهور هذا النوع من الخدمات تلك التطبيقات المستخدمة في عمليات الإنقاذ والطوارئ (الإسعاف و الدفاع المدني و المرور) حيث يمكن تحديد موقع المتصل بالخدمة ومن ثم معرفة موقعه بدقة وتوقيعه علي نظام معلومات جغرافي (في المركز الرئيسي للجهة) وبالتالي تحديد أقرب مركز طوارئ لهذا المكان مما يسمح بسرعة إرسال الخدمة المطلوبة لهذا المستخدم. وفي هذا التطبيق أيضا أمكن وضع جهاز جي بي أس في كل سيارة من سيارات الطوارئ و الإنقاذ بحيث يمكن للمركز الرئيسي تحديد أقرب سيارة لموقع المتصل و توجيها

إليه بسرعة. وكمثال آخر فتوجد خدمات تقدمها شركات الاتصالات المحمولة بحيث يمكنها إرسال معلومات للشخص المتصل (مثل أقرب مطعم أو محطة قطار أو بنك ...الخ) بناءا علي تحديد موقعه.

١١-٤ برامج نظم المعلومات الجغرافية المحمولة

تعرف خدمة نظم المعلومات الجغرافية GIS Service علي أنها برنامج كمبيوتر يتم تنفيذه من بعد لأداء وظائف نظم معلومات جغرافية محددة. وهذا بالطبع يختلف عن الصورة التقليدية لبرامج نظم المعلومات الجغرافية التي يتم تثبيتها علي كمبيوتر المستخدم نفسه. وفي هذا التطبيق من الممكن للمستخدم أن يقدم بيانات خاصة به أو أن يستخدم بيانات تقدمها الخدمة ذاتها. وكمثال لهذا النوع من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية وظيفة الملاحة navigation الموجودة في معظم أجهزة التليفون المحمول، فموقع المستخدم يتم تحديده من خلال الجي بي أس الموجود داخل التليفون، وعندما يستعلم المستخدم عن موقع محدد يريد الوصول إليه (مطعم مثلا) يتم تحديد هذا المكان في قاعدة نظم المعلومات الجغرافية لشركة الاتصالات ذاتها ومن ثم تطبيق وظيفة أقصر مسار بين موقع المستخدم و موقع الخدمة المطلوبة، ثم تقوم الشركة بإرسال النتائج سواء من خلال توقيع هذا المسار علي الخريطة الظاهرة علي شاشة تليفون المستخدم أو بواسطة معلومات صوتية.

١١-٥ نظم المعلومات الجغرافية الديناميكية

تم في التسعينات ممن القرن العشرين الميلادي تطوير نظم تقنية تهدف إلي "عمل الخرائط المحمولة mobile mapping systems" أو اختصارا MMS. وتتميز هذه الطرق بالاعتماد علي عدة تقنيات لتجميع البيانات المكانية (مثل المسح الجوي الأرضي terrestrial photogrammetry و الرادار و الليزر والجي بي أس) بصورة سريعة و دقيقة ورخيصة اقتصاديا أيضا حيث أنها تقلل من تكلفة العمل الحقلي. وتتكون مثل هذه التقنيات الحديثة من سيارة مركبا عليها مجموعة من أجهزة القياس و التسجيل مثل الكاميرات الفوتوغرافية الرقمية أو كاميرات الفيديو الرقمية وأجهزة الجي بي أس و أجهزة الليزر، بحيث يتم تجميع قياسات هذه الأجهزة بأسلوب تكاملي لحظي باستخدام جهاز كمبيوتر محمول. وبهذا الأسلوب التكاملي يمكن قياس الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لكل المعالم المكانية التي يتم تصويرها (فوتوغرافيا أو فيديو) علي طول مسار السيارة، وتوقيع هذه القياسات لحظيا علي الخرائط علي الكمبيوتر لتطوير خريطة رقمية في نفس وقت العمل الميداني. وتصل دقة بعض نظم الخرائط

المحمولـة إلـي عدة سـنتيمترات فـي المـستوي الأفقـي. ويـشتهر تطبيـق هـذه التقنيـة فـي إنـشاء و تحديث خرائط شبكات الطرق وكذلك في أعمال صيانة و إدارة شبكات المواصلات من طـرق و سكك حديدية.



شكل (١١-٦) نماذج لنظم الخرائط المحمولة

الباب الرابع: التحليل

Analysis

الفصل الثاني عشر: الكارتوجرافيا و إنتاج الخرائط

Cartography and Map Production

الفصل الثالث عشر: التصور الجغرافي

Geo-visualization

الفصل الرابع عشر: الاستعلام والقياس والتحويل

Query, Measurement, and Transformation

الفصل الخامس عشر: التلخيص الوصفي و التصميم والاستنتاج

Descriptive Summary, Design, and Inference

الفصل السادس عشر: النمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

Spatial Modeling with GIS

الفصل الثاني عشر

الكارتوجرافيا و إنتاج الخرائط
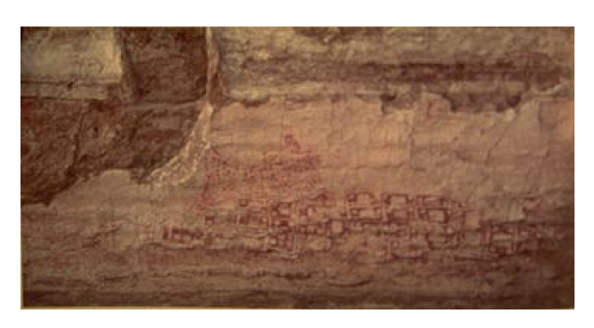
١٢-١ مقدمة

تمثل منتجات نظم المعلومات الجغرافية الثمرة الرئيسية في الكثير من المشروعات، مما يجعلها هامة للغاية للمديرين و المهندسين و العلماء. إن الخرائط مازالت تمثل وسيلة فعالة للغاية لتلخيص و نشر نتائج عمليات نظم المعلومات الجغرافية لدي قطاع واسع من الجمهور. وتجدر الإشارة إلي أن جزء كبير من مستخدمي نظم المعلومات الجغرافية مازالوا يعتمدون علي الخرائط بصورة أو بآخري.

تعد الخرائط جسرا يربط بين العالم الداخلي لعقل الإنسان والعالم الخارجي والبيئة المحيطة به، كما أنها من أقدم وسائل الاتصال ونقل المعلومات بين جماعات البشر. يقول المؤرخون أن الإنسان قد عرف الخرائط حتى قبل أن يعرف الكتابة، فقد درج الإنسان منذ قديم الأزل أن"يرسم" طريقا الي هدفا أو موقعا جغرافيا معينا ليسهل عليه الوصول إلى هذا المكان أو الهدف. وقد كانت الجماعات البشرية في العصر البدائي تتجول في مناطق شاسعة بهدف الحصول علي الطعام و الماء مما جعل معرفة الاتجاهات و المسافات و "رسمها" في غاية الأهمية لهم. وقد أكتشف الإنسان القديم أن "الرسم" يمكنه من توثيق و نقل الكثير من المعلومات وخاصة المكانية بطريقة أكثر سهولة و دقة من "الكلام". وقد وجد الأثريون العديد مما يمكن أن نطلق عليه "خرائط" للحضارات البدائية أو حضارات ما قبل التاريخ، مما جعل البعض يرجع عمر الخرائط لحوالي ٨٠٠٠ عام. ومع أن البعض يعيد التاريخ المعروف للخرائط إلي الخرائط البابلية، إلا أنه قد تم العثور في عام ١٩٦٣م (١٣٨٢ هـ) علي ما يمكن أن نطلق عليه "رسم خرائطي" علي الجدران بطول تسعة أقدام في أنقرة بتركيا و يعود تقريبا لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد، ووجد أن هذا "الرسم" يصف قلعة هيوك في الأناضول وأمكن التعرف علي حوالي ثمانين مبني داخل القلعة والجبال البركانية المحيطة بها. وتوجد هذه اللوحة الجدارية في متحف جامعة هارفارد الأمريكية.

تعود أقدم الخرائط المعروفة إلى الحضارة البابلية في العراق (حوالي ٢٥٠٠ عام قبل الميلاد) حيث أنشأت الخرائط كأساس لتقدير الضرائب وكانت ترسم علي لوحات من الصلصال المحروق. وتوجد في متحف آثار جامعة هارفارد الأمريكية أقدم خريطة بابلية معروفة باسم "خريطة جاسور" التي تم اكتشافها في مدينة جاسور شمال بابل في عام ١٩٣٠م وهي عبارة

عن لوح من الصلصال مساحته ٧.٦ × ٦.٨ سنتيمتر موضحا عليها جزء من نهر و ما يحيط به من مرتفعات و تلال.



شكل (١٢-١) أقدم "رسم خرائطي" يعود لعام ٦٢٠٠ قبل الميلاد



توضيح مصطلحات الخريطة الخريطة الأصلية

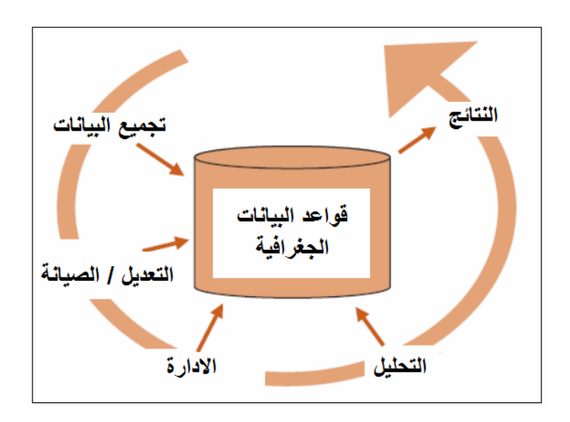
شكل (١٢-٢) خريطة جاسور لعام ٢٥٠٠ قبل الميلاد

إن إعداد و صناعة الخريطة علما في حد ذاته ويسمي علم الكارتوجرافيا Cartography له أسسه و مبادئه و نظرياته. كلمة الكارتوجرافيا مكونة من مقطعين: كارتو بمعني خريطة و جرافيا بمعني رسم، أي أن الكارتوجرافيا هي علم و فن و تقنية إعداد الخرائط. يدرس علم الكارتوجرافيا طرق معالجة البيانات المكانية التي تم قياسها في الطبيعة و كيفية تمثيلها تمثلا هندسيا سليما علي الخريطة (سواء كانت ورقية أو رقمية). ينقسم هذا الهدف إلي جزأين: أولا كيفية التعامل مع الخصائص الهندسية لهذه القياسات المساحية (من حيث وحداتها و أنواعها ونظم القياسات المختلفة) وطرق تحويلها إلي رسم مصغر (مقياس رسم الخريطة)، ثانيا الأساليب الإحصائية لتقسيم البيانات المطلوب إظهارها علي الخريطة. أي أن راسم الخريطة mapmaker لا بد أن يلم بأساسيات علم المساحة و علم الإحصاء.

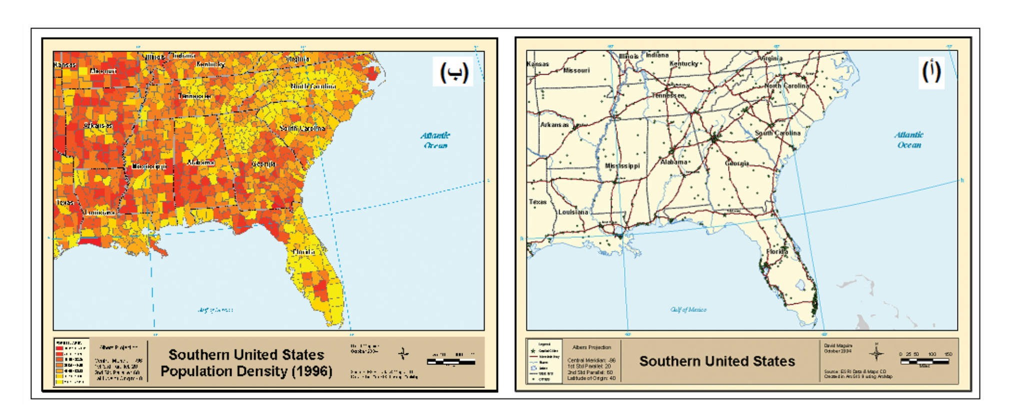
١٢-٢ الخرائط و الكارتوجرافيا

توجد عدة تعريفات للخريطة - سواء كانت ورقية أو رقمية - ومنها التعريف التالي المعتمد علي نظم المعلومات الجغرافية: الخريطة هي الناتج النهائي لعدة خطوات من مراحل

معالجة البيانات داخل نظام المعلومات الجغرافي بداية من تجميع البيانات ومعالجتها و صيانتها وصولا إلي مرحلة إدارة البيانات و تحليلها للوصول إلي الخريطة (الشكل ١٢-٣).وهناك نوعين أساسين من الخرائط: الخرائط المرجعية reference maps التي تمثل معلومات جغرافية عامة مثل الخرائط الجغرافية و الخرائط الطبوغرافية و الخرائط التفصيلية، والخرائط الموضوعية thematic maps التي تمثل موضوعا جغرافيا محددا مثل التعداد السكاني أو التربة. ففي الشكل (١٢-٤ أ) نري خريطة طبوغرافية للولايات الجنوبية في أمريكا، بينما يمثل الشكل (١٢-٤ ب) التوزيع السكاني لهذه الولايات.



الشكل (١٢-٣) عمليات نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج الخريطة



الشكل (١٢-٤) مثال لأنواع الخرائط

تؤدي الخرائط وظيفتين رئيسيتين، فهي وسيلة فعالة لحفظ وأيضا نشر المعلومات الجغرافية. فقديما كنا نقول أن "الصورة تغني عن ألف كلمة"، والآن يمكننا أن نقول أن "الخريطة تغني عن ألف بايت byte ". فالخريطة من الممكن أن تمثل معلومات خام raw data في صورة رقمية، ومن الممكن أيضا أن تمثل نتائج عمليات التحليل المكاني لظاهرة محددة. أيضا فالخريطة تقدم علاقات مكانية عن الظاهرات الممثلة علي نفس الخريطة أو علاقات مكانية بين عدة مواقع جغرافية. وتتطلب عملية اتخاذ القرار توافر الخرائط الدقيقة و الحديثة عن منطقة الدراسة.

غيرت نظم المعلومات الجغرافية الطريقة التقليدية لإنشاء و استخدام الخرائط، ويمكننا القول أن الكارتوجرافيا الرقمية digital cartography قد حررت صانع الخريطة من عدة قيود كانت موجودة في إنتاج الخرائط الورقية، ومنها:

١. تعتمد الخريطة الورقية علي مقياس رسم محدد fixed scale، لكن إمكانيات التكبير و التصغير zoom in/zoom out الموجودة في برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح رؤية و طباعة الخريطة في عدة مقاييس رسم.
٢. تغطي الخريطة الورقية امتداد جغرافي محدد fixed extend، بينما تتيح نظم المعلومات الجغرافية التعامل (في مشهد واحد) مع عدة خرائط متجاورة تغطي منطقة جغرافية كبيرة.
٣. تمثل معظم الخرائط الورقية نظرة ثابتة static view للعالم، بينما تستطيع طرق التمثيل في نظم المعلومات الجغرافية استنباط رؤية ديناميكية dynamic view للواقع الجغرافي.
٤. الخرائط الورقية مستوية أو ثنائية الأبعاد، بينما تستطيع نظم المعلومات الجغرافية التعامل مع البيانات ثلاثية الأبعاد 3D وتمثيلها كمجسم أو سطح.
٥. تعطي الخرائط الورقية نظرة للعالم كما لو كان كاملا، بينما مفهوم الطبقات layers في نظم المعلومات الجغرافية تتيح إظهار أو إخفاء طبقة (أو طبقات) معينة لفحص البيانات بتمعن.

١٢-٣ أسس تصميم الخرائط

تعد عملية تصميم الخريطة عملية فنية خلاقة يحاول من خلالها الكارتوجرافي أو صانع الخريطة إيصال المعلومات بصورة سهلة و بسيطة تناسب الهدف من الخريطة ذاتها. فالأهداف الرئيسية للخريطة تشمل مشاركة المعلومات وإبراز الأنماط والعمليات وتمثيل النتائج، بينما تشمل الأهداف الثانوية تطوير صورة سهلة الفهم واضحة وجميلة أيضا دون الإخلال بالأهداف الرئيسية. ومن ثم فأن عملية تصميم الخريطة ليست عملية بسيطة، لكنها تحتاج المقارنة المتزامنة بين المتغيرات و الطرق المختلفة للوصول لأفضل تصميم. ولا يوجد تعريف محدد للتصميم الأفضل للخريطة، لكن بصفة عامة توجد سبعة عناصر تتحكم في عملية تصميم الخريطة وتشمل:

١. الهدف من الخريطة: هو أهم معامل يتحكم في نوعية البيانات التي ستظهر علي الخريطة وكيفية تمثيلها. فالخرائط المرجعية تعد خرائط عامة متعددة الاستخدامات بينما الخريطة الموضوعية يكون لها هدف واحد فقط.

٢. الواقع: غالبا فأن ظاهرات الواقع المطلوب تمثيلها تؤثر علي تصميم الخريطة ذاتها، فعلي سبيل المثال فأن اتجاه امتداد المنطقة الجغرافية سيحدد توجيه الخريطة (طوليا أو عرضيا).

٣. البيانات المتاحة: طبيعة البيانات المتاحة (خطية vector أو شبكية raster) يؤثر أيضا علي تصميم الخريطة وخاصة في تصميم مفتاح الخريطة.

٤. مقياس الرسم: يؤثر مقياس رسم الخريطة علي كمية البيانات الممكن تمثيلها (نتحدث هنا عن الخريطة عند طباعتها، وليس علي الخريطة داخل GIS فهي لا تعتمد علي المقياس كما سبق الذكر).

٥. الجمهور: لكل فئة من الجمهور المستخدم للخرائط متطلبات مختلفة في البيانات المراد إظهارها علي الخريطة، فعلي سبيل المثال فالمديرين يريدون رؤية خلاصة النتائج بينما المستخدمين المتخصصين يطلبون معلومات أكثر تفصيلا.

٦. شروط الاستخدام: البيئة التي سيتم فيها استخدام الخريطة قد تفرض قيودا معينة، فالخرائط المستخدمة في الهواء الطلق تتطلب مواصفات معينة عن الخرائط المفترض استخدامها داخل الغرف والمعامل المغلقة.

٧. القيود الفنيأة: هل سيتم التعامل مع الخريطة رقميا أم سيتم طباعتها ورقيا سيؤثر أيضا علي تصميم الخريطة، فمثلا خرائط الانترنت التي تظهر علي الأجهزة المحمولة ستكون أبسط من تلك التي سيتم التعامل معها علي شاشات الكمبيوترات الشخصية (ذات قدرة التوضيح resolution الأعلى).

١٢-٣-١ مكونات الخريطة

تشمل المكونات الرئيسية للخريطة عدة عناصر (الشكل ١٢-٥) يجب الانتباه لأهمية كلا منهم وعلاقاتهم النسبية:

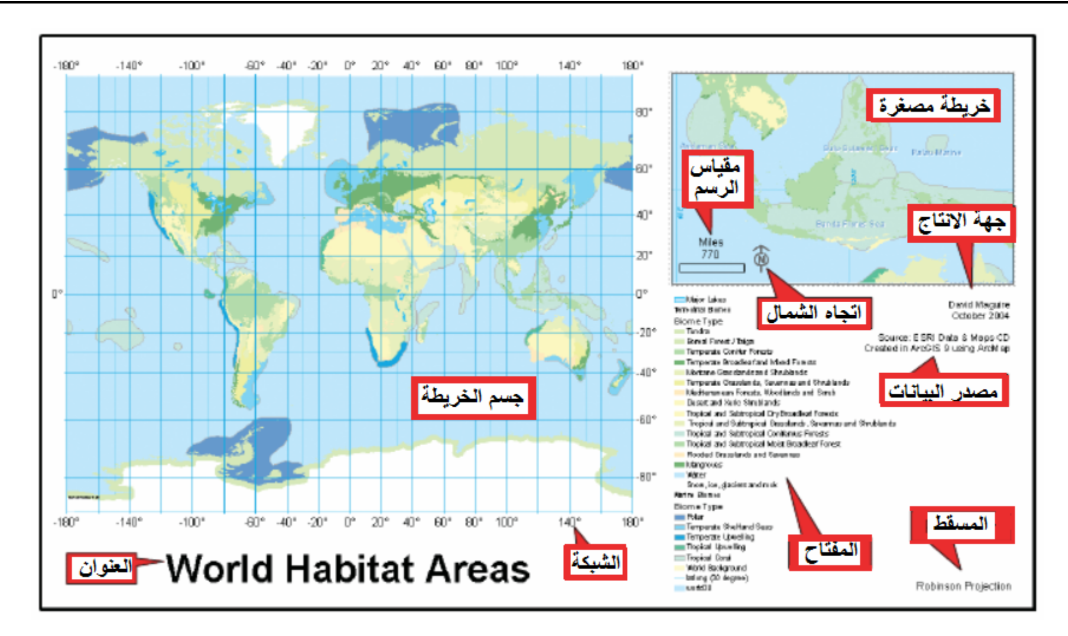
- جسم الخريطة body : أهم عناصر الخريطة، وقد يكون جسما واحدا أو قد يكون أكثر من جزء في الخرائط المقارنة (يسمي أيضا المحتوي الجغرافي للخريطة).
- الخريطة المصغرة inset/overview map : خريطة من الممكن استخدامها لتوضح جزء من جسم الخريطة الأصلية بصورة أكثر تفصيلا أي بمقياس رسم أكبر

(وتسمي inset map) أو لتوضح الموقع العام لمنطقة جسم الخريطة (وتسمي overview map).

- العنوان title : عنوان الخريطة يحددها أو يعرفها، وأيضا يوضح للمستخدم محتوياتها.
- مفتاح الخريطة legend : قائمة بالرموز المستخدمة في الخريطة و دلالة كل رمز منهم.
- مقياس الرسم scale : مؤشر لحجم الأهداف و المسافات بينهم، من خلال النسبة بين الوحدة علي الخريطة ونظيرتها الحقيقية علي الأرض. فمثلا المقياس ١ : ١٠٠٠ يدل علي أن كل وحدة واحدة علي الخريطة تمثل ألف وحدة علي الطبيعة. وقد يكون مقياس الرسم كتابيا scale text أو خطيا scale bar.

مقياس رسم الخريطة	ما يمثله ١ سنتيمتر في الطبيعة
١ : ٢٠،٠٠٠	٢٠٠ متر
١ : ٢٥،٠٠٠	٢٥٠ متر
١ : ٥٠،٠٠٠	٥٠٠ متر
١ : ١٠٠،٠٠٠	١ كيلومتر
١ : ٢٥٠،٠٠٠	٢.٥ كيلومتر
١ : ٥٠٠،٠٠٠	٥ كيلومتر
١ : ١،٠٠٠،٠٠٠	١٠ كيلومتر

- مؤشر الاتجاه direction indicator : لتحديد اتجاه الخريطة، وقد يتم استخدام شبكة الإحداثيات (شبكة من خطوط الطول و دوائر العرض graticule، أو شبكة من الإحداثيات المتعامدة grid) للدلالة علي اتجاه الخريطة أو قد يتم رسم مؤشر لاتجاه الشمال north arrow.
- معلومات الخريطة metadata : تشمل عدة أنواع من المعلومات مثل مسقط الخريطة projection، تاريخ الإنتاج، جهة الإنتاج، البيانات المصدر التي تم الاعتماد عليها في إنتاج الخريطة.



الشكل (١٢-٥) المكونات الرئيسية للخريطة

يتطلب التصميم الجيد للخريطة أن تتوازن جميع عناصرها (حجما و شكلا و مظهرا) بحيث تعطي الخريطة رؤية بصرية متوازنة لقارئ أو مستخدم الخريطة.

١٢-٣-٢ رموز الخريطة

يتم تصنيف و تمثيل البيانات علي الخرائط باستخدام مجموعة من الرموز الرسومية طبقا لقواعد و أسس متفقا عليها. ويعد اختيار أنواع وأشكال الرموز graphic symbolization هاما للغاية في تحديد مدي الاستفادة من الخريطة. وتنقسم رموز الخرائط إلي ثلاثة أنواع رئيسية وهي الرموز النقطية و الخطية و المساحية، ومن الممكن تغيير خصائص كل نوع من هذه الأنواع بعدة طرق لتمثيل عدة أنواع من الظاهرات المكانية (الشكل ١٢-٦). فعلي سبيل المثال يمكن تغيير حجم و توجيه الرموز النقطية و الخطية للتمييز بين قيم الظاهرات (مثلا سمك الخط يدل علي عرض الطريق في الطبيعة في حالة الرموز النوعية qualitative symbols). والشكل ١٢-٧ يوضح مثالا لتغيير حجم الرمز (الفطيرة pie) للدلالة علي قيمة الظاهرة في حالة الرموز الكمية quantitative symbols. أيضا يتم استخدام المظهر (عند استخدام الألوان) للتمييز بين أنواع المجموعات مثل أنواع استخدامات الأراضي أو أنواع التربة. وفي حالة وجود عدد كبير من أنواع الظاهرات المطلوب تمثيلها علي الخريطة يمكن استخدام عدة ألوان مع عدة أنواع من النسيج لاستنباط عدد كبير من الرموز.

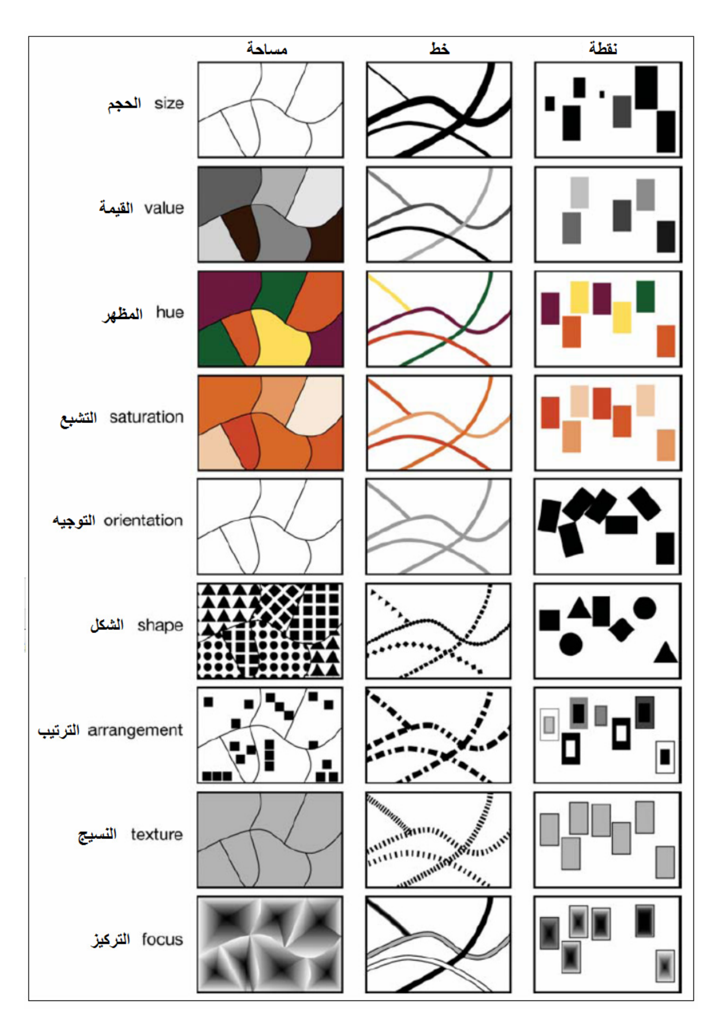
في حالة الرموز الكمية المساحية لتمثيل قيمة ظاهرة موزعة مساحيا (خرائط الكوربليث)، فهناك ٤ طرق لتقسيم قيم الظاهرة إلي فئات أو مجموعات ثم تمثيلها رمزيا (الشكل ١٢-٨):

الوقفات الطبيعية natural breaks: تقسم القيم إلي مجموعات طبقا للمجموعات التي يسهل ملاحظتها بصورة طبيعية بالنظر إلي البيانات.

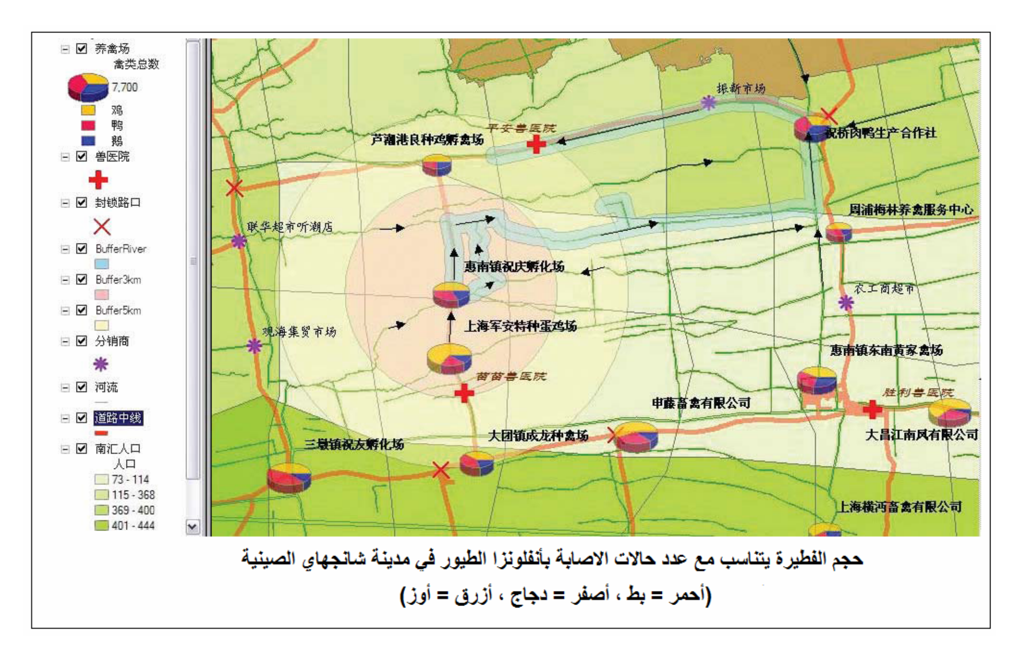
الوقفات الكمية quantile breaks: تقسم البيانات إلي مجموعات بكل مجموعة عدد محدد من الأرصاد.

الوقفات متساوية الفترة equal-interval breaks: تقسم البيانات إلي فئات متساوية في القيمة.

التقسيم بناءا علي الانحراف المعياري standard-deviation classification: ويظهر المسافة من الرصدة إلي المتوسط.

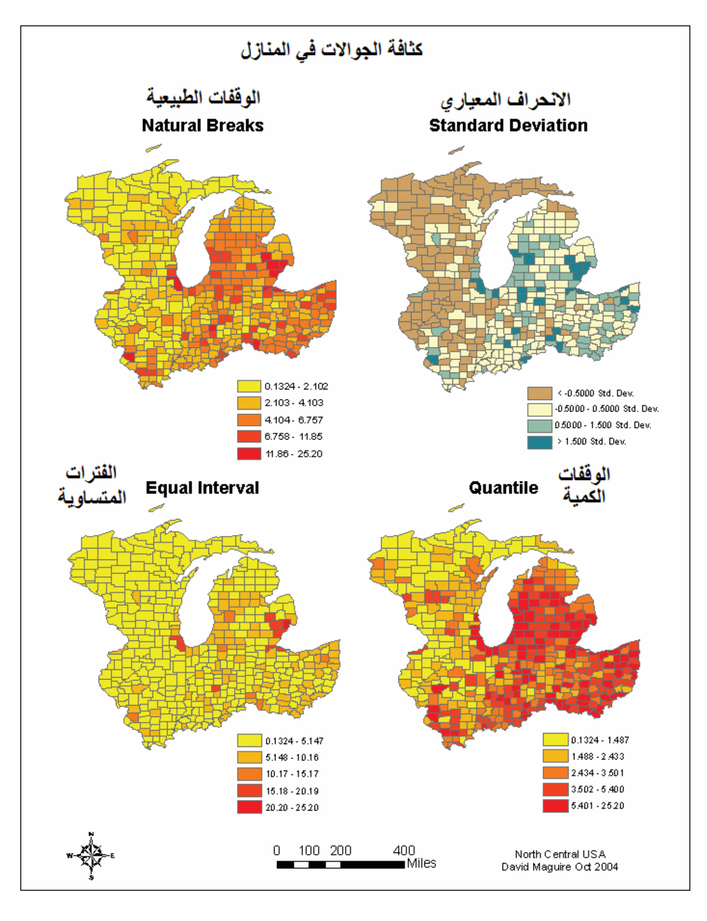


الشكل (١٢-٦) خصائص رموز الخريطة



حجم الفطيرة يتناسب مع عدد حالات الاصابة بأنفلونزا الطيور في مدينة شانجهاي الصينية
(أحمر = بط ، أصفر = دجاج ، أزرق = أوز)

الشكل (١٢-٧) مثال لتغيير حجم الرمز في حالة الرموز الكمية



الشكل (١٢-٨) طرق تقسيم البيانات في خرائط الكوربليث

١٢-٤ مجموعات الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية

أثرت نظم المعلومات الجغرافية تأثيرا هائلا في مجال إنتاج الخرائط الرقمية وطباعتها ورقيا سواء من حيث الدقة أو السرعة أو الجودة. لكن أحد أهم هذه الايجابيات يأتي في مجال مجموعات الخرائط map series للجهات المسئولة عن إنتاج الخرائط (مثل خرائط الأطالس). هنا تتيح نظم المعلومات الجغرافية تصميم "قالب خريطة map template" يحتوي عناصر أو مكونات الخريطة بصورة قياسية ثابتة، ثم يمكن استخدام هذا القالب القياسي لإنتاج وطباعة مجموعة من الخرائط لمنطقة جغرافية بحيث تكون كل الخرائط لها نفس الشكل و التصميم وتختلف فقط في المحتوي الجغرافي لكلا منها. ويعتمد هذا التطبيق علي تطوير قاعدة بيانات جغرافية للظاهرات المكانية المنشودة للمنطقة بكاملها (مجموعة من الطبقات) من حيث تجميع البيانات و تعديلها و معالجتها و إدارتها و تحديثها. وبناءا علي كم التفاصيل المكانية المتوافرة في قاعدة البيانات الرقمية فمن الممكن تطوير مجموعات من الخرائط في عدة مقاييس رسم لكامل المنطقة (مدينة أو ولاية أو دولة).

الفصل الثالث عشر

التصور الجغرافي

١٣-١ مقدمة

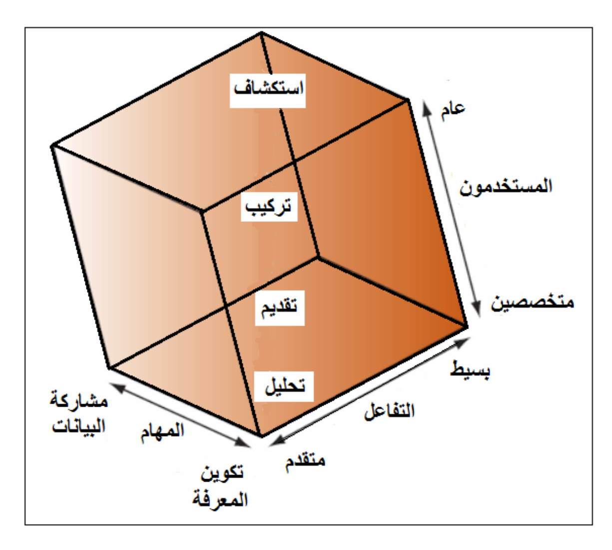
يعد التصور (أو التمثيل المرئي) الجغرافي geo-visualization أحد أهم مميزات نظم المعلومات الجغرافية من حيث تقديم المعلومات مرئية بصريا للمستخدم. فنظم المعلومات الجغرافية تمتلك وسائل أغني وأقوي وأكثر كفاءة في تمثيل المعلومات والتوزيعات عند مقارنتها بالخرائط الورقية. تتطلب عملية اتخاذ القرار (بالاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية) إيصال رسالة تمثيل البيانات الضخمة المتاحة في صورة بسيطة و سهلة الفهم للمديرين و التنفيذيين. وُتعرف عملية التصور الجغرافي علي أنها عملية ابتكار و استخدام طرق التمثيل البصري لتسهيل فهم واستيعاب المعلومات الجغرافية وتكوين المعرفة عن البيئة البشرية و البيئية المحيطة. ومن ثم فأن التصور الجغرافي هو مجال بحثي يستخدم أساليب التمثيل المستنبطة من عدة علوم تشمل علوم الكمبيوتر و الكارتوجرافيا وتحليل المرئيات بالإضافة لعلم نظم المعلومات الجغرافية. ويهدف هذا المجال لتطوير نظريات و طرق و تحليلات مناسبة لتمثيل المعلومات المكانية، أي أنه يتخطي الطرق التقليدية لتصميم الخرائط إلي مرحلة تطبيقية جديدة لإيصال المعلومات الجغرافية لقطاع واسع من المستخدمين في التطبيقات العلمية و الاجتماعية.

١٣-٢ التصور الجغرافي و الاستعلام المكاني

يعتمد التصور الجغرافي الجيد علي فهم طرق الإدراك البشري للأشكال وطبيعة تفكير الإنسان عن المكان و الزمان ومن ثم كيف يمكن تمثيل البيئة المكانية تمثيلا أفضل باستخدام الكمبيوتر و البيانات الرقمية. وفي هذا الإطار فهناك أربعة أهداف للتصور الجغرافي:

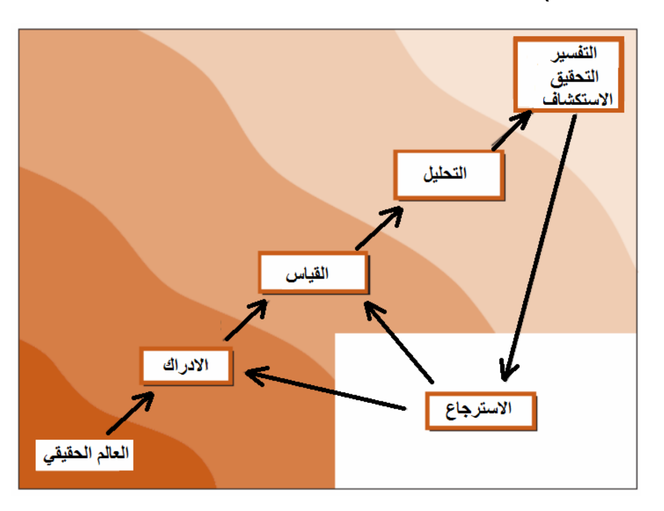
- الاستكشاف exploration : تحديد هل يمكن أن تكون الرسالة العامة لقاعدة البيانات حساسة لتضمين أو استثناء عنصر معين من البيانات.
- التركيب الاصطناعي synthesis : تقديم قاعدة بيانات - أو أكثر - معقدة ومليئة بالتفاصيل بصورة يسهل فهمها للمستخدم.
- التقديم presentation : تقديم الرسالة العامة لقاعدة البيانات بطريقة سهلة و ذكية تجعل المستخدم يفهم الإطار العام لجودة التمثيل.
- التحليل analysis : تقديم وسيلة أو وسط مناسب يدعم طرق و تقنيات التحليل المكاني.

يهدف التصور الجغرافي إلي جعل المستخدمين يستكشفون و يركبون و يقدمون و يحللون بياناتهم الخاصة، حتى و إن اختلفوا في المهام (من مشاركة البيانات وحتى تكوين المعرفة) أو اختلفوا في الخبرات أو اختلفوا في درجات التفاعل (الشكل ١٣-١).



الشكل (١٣-١) وظائف التصور الجغرافي

يمكن أخذ التصور الجغرافي في الاعتبار وعلاقته بمفهوم عدم اليقين (أرجع للشكل ٦-١) ليتكون لدينا الآن شكلا جديدا لهذا النموذج، بحيث لا يكون التحليل الجغرافي هو نقطة النهاية بل سيكون بمثابة نقطة بداية جديدة لعملية الاسترجاع feedback وإمكانية فحص بدائل أخري للتمثيل (الشكل ١٣-٢).



الشكل (١٣-٢) التحليل ليس نقطة النهاية في نمذجة العالم الحقيقي

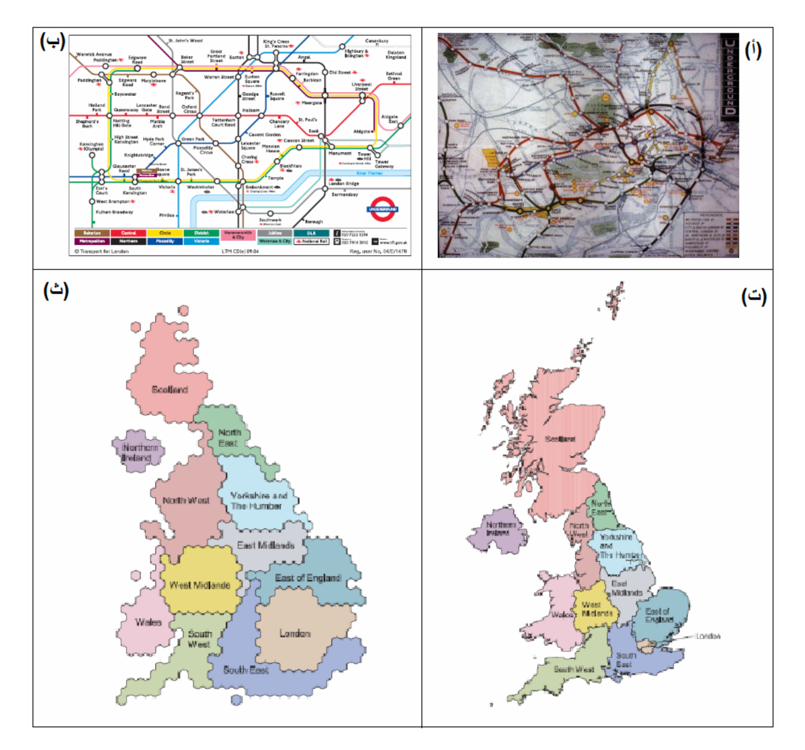
يكون أبسط طرق تقويم وإعادة تشكيل نموذجا تمثيليا للعالم الحقيقي من خلال الاستعلام المكاني spatial query للإجابة علي عدة أسئلة مثل: أين؟ ماذا يوجد في مكان محدد؟ ما العلاقة المكانية بين ....؟ ما هو المماثل لـ ....؟ أين يقع الحدث .... ؟ ماذا تغير منذ .... ؟ ما هو النمط المكاني لـ ... ؟ وكل برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح شرائط أدوات و أيقونات

لتنفيذ عمليات الاستعلام المكاني. أيضا تتيح مواقع خدمات نظم المعلومات الجغرافية علي الانترنت هذه الوظائف حيث أن الاستعلام المكاني يعد من أهم وظائف نظم المعلومات الجغرافية. وربما تبدو عملية الاستعلام المكاني عملية بسيطة، إلا أنها معقدة بطبيعتها خاصة في التطبيقات التي تعتمد علي تحديث البيانات بصورة مستمرة (مثل خدمات المرور).

١٣-٣ التصور الجغرافي و تحويل صور البيانات

تحويل صور البيانات transformation هي عملية تغيير صورة تمثيل البيانات غير المكانية attribute للمساعدة في عمليات التحليل المكاني لخصائص الظاهرات الجغرافية. فعلي سبيل المثال فأن خطوط الشواطئ يتم قياسها (من الخريطة الممسوحة ضوئيا) كمجموعة متتالية من الخطوط المرقمة، لكن تصورها جغرافيا قد يكون في صورة خط واحد يعبر عن الاتجاه العام للشاطئ. أيضا وكمثال آخر فأن الحقول الزراعية يتم قياسها في صورة مضلعات محددة، بينما يمكن تصورها جغرافيا في هيئة مضلعات تعبر عن فئات متجانسة من المحاصيل. أما الأهداف ثلاثية الأبعاد مثل نقاط الارتفاعات المقاسة فيمكن تصورها جغرافيا في صورة نموذج ارتفاعات رقمي. وهذه العمليات من تحويل صور البيانات تهدف لجعل تصورها أو تمثيلها بصريا أسهل في الفهم و التحليل.

الكارتوجرام cartograms هي نوعية خاصة من الخرائط التي لا تحافظ علي الصحة الأفقية ويتم وضع تشوه متعمد للمسافات أو المساحات عليها لأهداف خاصة. وأهم أهداف عمل الكارتوجرام هو إظهار أنماط ربما لا يمكن ملاحظتها في حالة الخرائط العادية لكي تكون الخريطة سهلة القراءة و التفسير. فعلي سبيل المثال فالشكل (١٣-٣ أ) يمثل الصورة الحقيقية لمترو الأنفاق في مدينة لندن في عام ١٩٩٣م، وهي ليست خريطة سهلة الفهم لركاب المترو خاصة من الأجانب. ويمثل الشكل (ب) كارتوجرام لشبكة المترو في صورة أكثر بساطة وأسهل فهما. أما الشكل (١٣-٣ ت) فيمثل خريطة أقاليم المملكة المتحدة، بينما نري بعض التضخيم exaggeration في الكارتوجرام المناظر (الشكل ث) الذي يمثل الأقاليم متساوية السكان. ويمكننا تخيل هذا الكارتوجرام كما لو كان إسقاط من نوع خاص حيث يتم رسم كل إقليم نسبة لعدد سكانه، لكن بحيث أن الشكل العام لحدود الإقليم ما يزال بقدر الإمكان يشبه شكله الجغرافي الحقيقي. توجد بعض الطرق نصف الآلية semi-automatic لإنشاء الكارتوجرام، إلا أن معظمها يحتاج للتدخل البشري للتعديل النهائي.



الشكل (١٣-٣) أمثلة لتطبيقات الكارتوجرام في التصور الجغرافي

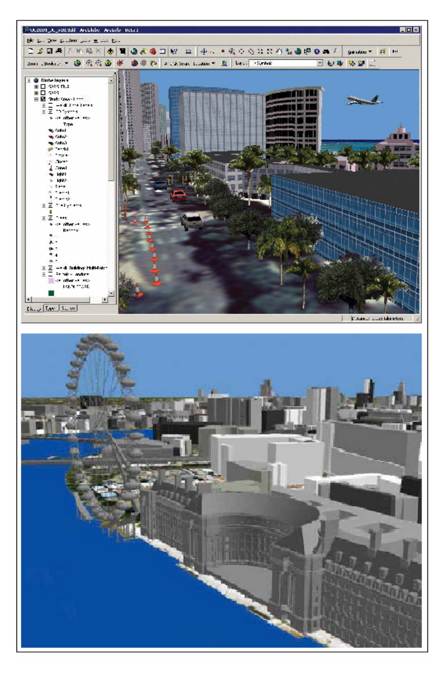
١٣-٤ التصور الجغرافي و نظم المعلومات الجغرافية للجمهور

تعد نظم المعلومات الجغرافية من أهم أدوات اتخاذ القرار في العديد من عمليات التنمية. لكن من الأفضل أن يجمع متخذي القرار أراء الجمهور في أية مشروعات تنموية ليتم أخذها في الاعتبار قبل و أثناء تنفيذ هذه المشروعات. ومن هنا ظهر مصطلح جديد يمكن أن نطلق عليه اسم نظم المعلومات الجغرافية للجمهور Public-Participation GIS أو اختصارا PPGIS. وعلي المستوي التقني فأن هذا الأسلوب الجديد يهدف أيضا لتشجيع الجمهور العام علي استخدام نظم المعلومات الجغرافية وإبداء أرائهم ومقترحاتهم لمتخذ القرار في عمليات التنمية المجتمعية. وبالطبع فأن هذا الأسلوب يتطلب إنشاء أكثر من تمثيل لتبسيط عدة أنواع من البيانات غير المكانية attribute للجمهور غير المتخصص لكي يستطيع أن يكون صورة جيدة عن العالم الحقيقي في البيئة المحلية. وتتطلب نظم المعلومات الجغرافية للجمهور برامج من نوع خاص تسمح بعرض بيئة متحركة و تفاعلية interactive and dynamic مع المستخدم، و هنا يلعب التصور الجغرافي دورا مؤثرا.

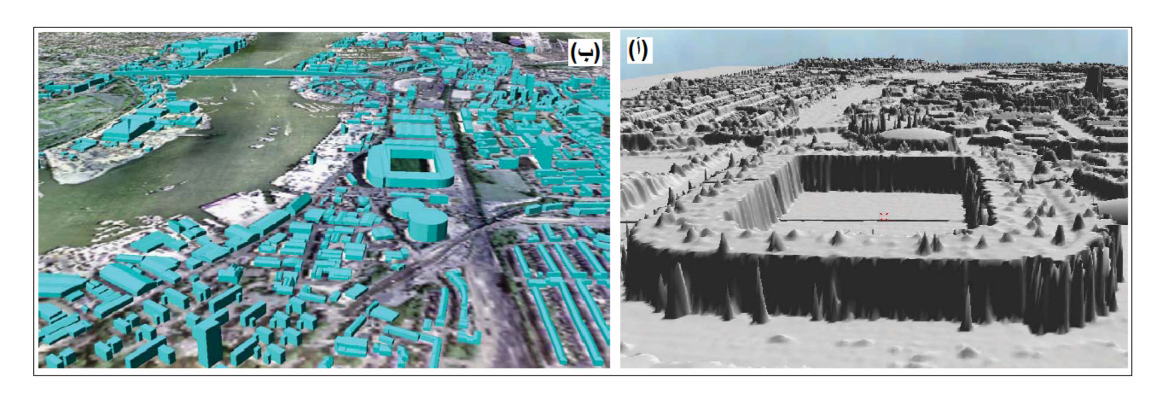
أيضا يتم تطبيق أساليب التمثيل الجغرافي في طرق الواقع الافتراضي VR بعدة صور لكي تمكن المستخدمين من التعامل مع عدة مناظر من البيانات المكانية بصورة افتراضية (الشكل ١٣-٤). هنا يتم توظيف التمثيل الجغرافي لإنشاء بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد

للظاهرات الطبيعية و الصناعية، مع إعطاء المستخدم أدوات للتكبير zoom in و التصغير zoom out و الحركة pan داخل كل نموذج.

يمكن الاستفادة من التصور الجغرافي في تمثيل البيانات ثلاثية الأبعاد 3D لإعطاء صورة أفضل و أسهل في الفهم للظاهرات المجسمة. فعلي سبيل المثال فالشكل (١٤-٥ أ) يمثل قياسات الارتفاعات الحقيقية للمنطقة المحيطة بالإستاد الرياضي في مدينة ساوثهامبتون البريطانية باستخدام تقنية المسح الجوي الليزري (المعروف باسم LiDAR). وفي الشكل (ب) تم إسقاط هذه النماذج ثلاثية الأبعاد علي صورة جوية للمدينة بحيث يمكن ملاحظة ارتفاعات الظاهرات المكانية.



شكل (١٣-٤) التصور الجغرافي و تمثيل الواقع الافتراضي



شكل (١٣-٥) التصور الجغرافي و التمثيل ثلاثي الأبعاد

الفصل الرابع عشر

الاستعلام و القياس و التحويل

١٤-١ مقدمة: ما هو التحليل المكاني؟

التحليل المكاني هو العملية التي من خلالها يتم تحويل البيانات الخام إلي معلومات مفيدة تستخدم للدراسات العلمية أو لاتخاذ القرار. وبمعني آخر فالتحليل المكاني هو جوهر نظم المعلومات الجغرافية، حيث أنه يضم جميع عمليات إدارة و معالجة البيانات واكتشاف الأنماط وفجوات البيانات التي لا تظهر بصريا بسهولة بهدف اتخاذ القرار. والمصطلح الشائع الاستخدام هو التحليل "المكاني spatial" وليس التحليل "الجغرافي" حيث أن هذا التحليل يعتمد علي تحليل البيانات في أي حيز مكاني space سواء كان هذا المكان هو الحيز الجغرافي للأرض، أو الحيز الفضائي لأي كوكب، أو حتى الحيز الدماغي لمخ الإنسان. ويعد التحليل المكاني سابقا علي وجود نظم المعلومات الجغرافية ذاتها، فقديما كان هناك "الكارتوجرافيا التحليلية analytical cartography" حيث يتم استخدام طرق تحليل الخرائط الورقية - من خلال القياسات المستنتجة بأجهزة بسيطة - بهدف استنباط معلومات هامة منها.

تتعدد طرق و أساليب التحليل المكاني بشدة، فقد تكون طرق بسيطة للغاية وقد تكون طرق رياضية و إحصائية معقدة للغاية. لكن هذه العملية لا تعتمد فقط علي قوة ومواصفات الكمبيوتر و البرامج المستخدمة، إنما أيضا تحتاج لمستخدم ذكي. فمن الممكن أن نتخيل أن عين و مخ الإنسان يقومان بعمل تحليل بصري بمجرد النظر للخريطة للورقية بهدف استنباط معلومات مفيدة من الخريطة. فإذا استخدمنا الكمبيوتر و البرامج لتحل محل العين البشرية فمازال دور العقل البشري هاما للغاية في إكمال التحليل المكاني الجيد. وهذه نقطة هامة جدا يجب الانتباه إليها:

Effective spatial analysis requires an intelligent user, not just a powerful computer

يختلف التحليل المكاني عن أي نوع آخر من التحليل في أنه يعتمد علي مكان محدد، ومن ثم فمن الممكن تعريف التحليل المكاني علي أنه مجموعة من الطرق التي ستختلف نتائجها باختلاف مكان الأهداف والظاهرات قيد الدراسة. وبالطبع فأن نظم المعلومات الجغرافية تعد منصة مثالية للتحليل المكاني حيث أن كل مفردات قواعد البيانات الجغرافية مرجعة جغرافيا أي لها مواقع مكانية محددة. وتوجد ستة أساليب عامة لطرق التحليل المكاني وتشمل:

١. الاستعلام query : من أبسط طرق التحليل المكاني حيث يستطيع نظام المعلومات الجغرافي الإجابة علي أسئلة بسيطة من قبل المستخدم مثل: ما عدد المنازل الموجودة في نطاق كيلومتر واحد من هذه النقطة؟ ما هي أقرب مدينة شمالا من مدينة لوس أنجلوس؟. وفي هذه الطريقة لا تحدث أية تغييرات علي قاعدة البيانات الجغرافية ولا يتم إضافة أية بيانات جديدة للنظام.

٠. القياسات measurements : عمل قياسات للحصول علي قيم رقمية بسيطة تصف طبيعة البيانات الجغرافية، مثل القياسات البسيطة كالطول و المساحة والاتجاه.

٠. التحويلات transformations : طرق بسيطة للتحليل المكاني يتم فيها تغيير مجموعة البيانات مثل دمج مجموعتين أو مقارنتهم. ومن أمثلة التحويلات تحويل البيانات الخطية vector إلي بيانات شبكية raster والعكس أيضا.

٠. التلخيص الوصفي descriptive summary : الوصول لملخص مجموعة بيانات من خلال رقم أو رقمين (مثل المتوسط و الانحراف المعياري)، وهو المقابل لفرع الإحصاء الوصفي في علم الإحصاء.

٠. التحديد الأمثل optimization : طرق قياسية تصمم لاختيار الموقع المثالي للأهداف بناءا علي معايير أو شروط محددة.

٠. الاختبار الافتراضي hypothesis testing : الاختبارات التي تركز علي منطقية اعتبار نتائج عينة تمثل نتيجة عامة لمجتمع كامل من البيانات.

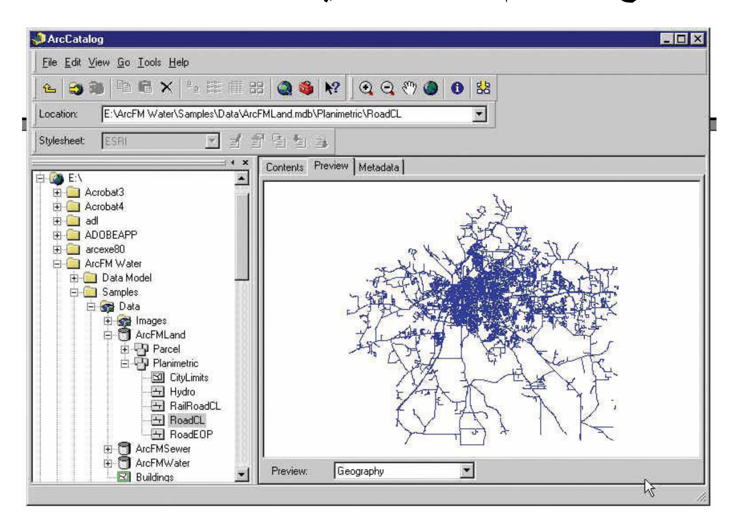
١٤-٢ الاستعلام

يتيح أي نظام معلومات جغرافي مثالي للمستخدم إمكانية استجواب interrogation النظام عن أيا من محتوياته، ليحصل علي أجوبة فورية. وقد يكون هذا الاستجواب بالتحديد علي الشاشة أو بكتابة السؤال أو من خلال الاختيار في قائمة من شرائط أدوات البرنامج أو (حديثا) من خلال توجيه السؤال شفويا للنظام (في تطبيقات الملاحة بالسيارات حيث لا يمكن الكتابة أثناء القيادة). يتيح أبسط أنواع الاستعلام التفاعل بين المستخدم ومجموعة المشاهدات views التي تقدمها نظم المعلومات الجغرافية. فمشاهدة الكتالوج catalogue view تعرض محتويات قاعدة البيانات المخزنة علي القرص الصلب للكمبيوتر أو علي الاسطوانة المدمجة أو الذاكرة المحمولة (الفلاش ميموري). وعادة يكون الكتالوج في صورة هرمية لعرض محتويات كل مجلد والمجلدات الفرعية به، من خلال صورة تفاعلية مع المستخدم (الشكل ١٤-١). ومعظم

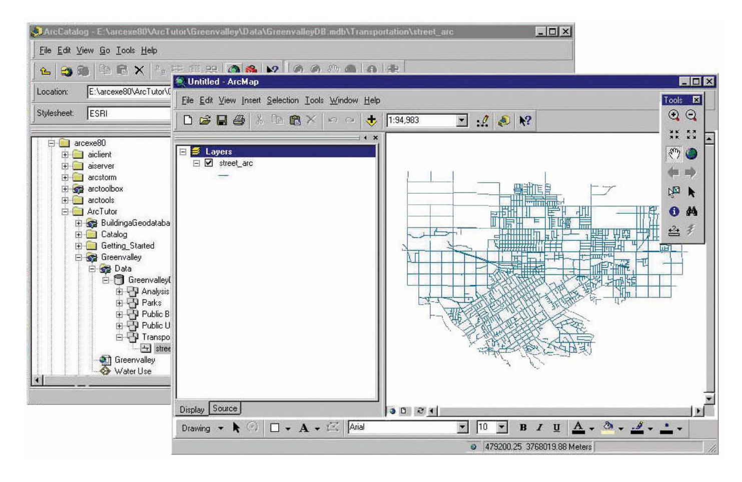
البرامج تتيح للمستخدم معرفة خصائص أي ملف من قاعدة البيانات (مثل نوع المسقط ونوع نظام الإحداثيات) بمجرد الضغط علي اسم الملف واختيار أمر "خصائص properties".

أما مشاهدة الخريطة map view فتعرض محتويات مجموعة البيانات بصورة بصرية وتفتح إمكانيات أكثر للاستعلام، فمثلا بمجرد الإشارة (أو المرور) بالماوس لأي نقطة علي الخريطة يتم عرض إحداثيات هذا الموقع (الشكل ١٤-٢). أما في حالة البيانات الشبكية فيمكن عرض الإحداثيات أو عرض رقم الصف و رقم العمود للخلية.

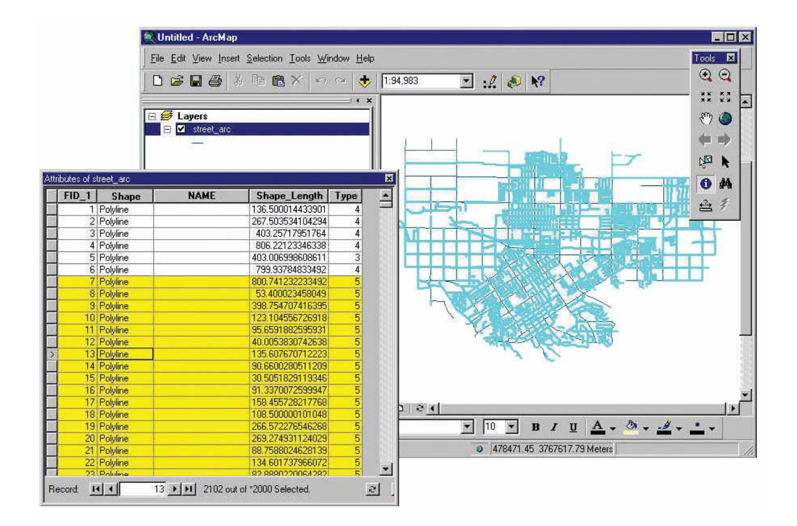
أما مشاهدة الجدول table view فتعرض مصفوفة من الصفوف التي تمثل الأهداف و الأعمدة التي تمثل البيانات غير المكانية، وهو ما يسمي بجدول البيانات غير المكانية attribute table (الشكل ١٤-٣). وبعض برامج نظم المعلومات الجغرافية تعرض مشاهدات أخري مثل الهستوجرام histogram والذي يعرض نوع من البيانات غير المكانية في صورة أعمدة، والتوقيع المشتت scatter plot الذي يوقع قيم نوعين من البيانات غير المكانية في صورة x,y وهذا ما يسمح للمستخدم من اكتشاف أي ارتباط بين هذين النوعين من البيانات.



الشكل (١٤-١) مثال لمشاهدة الكتالوج في برنامج ArcGIS



الشكل (١٤-٢) مثال لمشاهدة الخريطة في برنامج ArcGIS



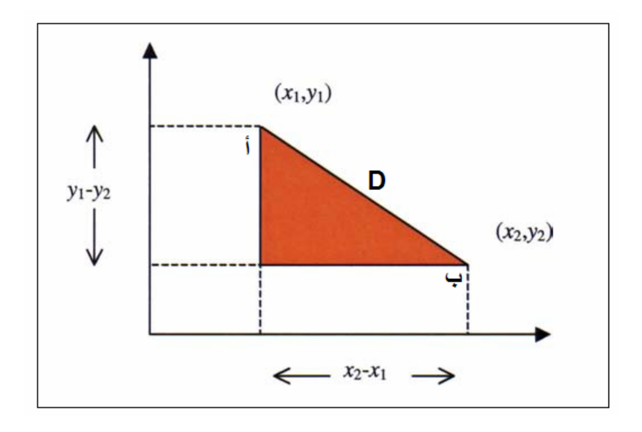
الشكل (١٤-٣) مثال لمشاهدة الجدول في برنامج ArcGIS

تعرض معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية أكثر من مشاهدة في نفس الوقت مما يتيح للمستخدم فحص البيانات بصورة تفاعلية أكثر كفاءة. فعلي سبيل المثال يمكن عرض مشاهدة الخريطة و مشاهدة الجدول معا بحيث أن تحديد أهداف معينة في قاعدة البيانات يؤدي لتحديد (تظليل) نفس هذه الأهداف في مشاهدة الخريطة (الشكل ١٤-٣). أما استخدام لغة الاستعلام التركيبية القياسية SQL فهو الأسلوب الأكثر قوة في تطبيق الاستعلام في قاعدة البيانات غير المكانية وقواعد البيانات العلاقية.

١٤-٣ القياسات

من المهم لمستخدم نظم المعلومات الجغرافية أن يقوم بعمل القياسات (مثل مساحة قطعة أرض، أو طول شارع، أو المسافة بين نقطتين) للحصول علي معلومات هامة للمظاهر الجغرافية. وكانت مثل هذه القياسات صعبة و تستغرق وقتا طويلا و تتعرض للأخطاء في مرحلة الخرائط الورقية. ثم أبتكر الإنسان بعض الأجهزة البسيطة لمساعدته في عمل هذه القياسات (مثل جهاز البلانيمتر لقياس المساحات من الخرائط). ثم أتت نظم المعلومات الجغرافية لتجعل هذه القياسات تتم بصورة مبسطة و كفاءة و دقة عالية. وتتم هذه العمليات من خلال برامج فرعية تقوم بتطبيق العلاقات الرياضية بسرعة ودقة، فحساب المسافة المستوية (ولنسميها D) بين نقطتين معلومتين الإحداثيات (نقطة أ: x1,y1 ، ونقطة ب: x2,y2) يتم من خلال المعادلة (الشكل ١٤-٤):

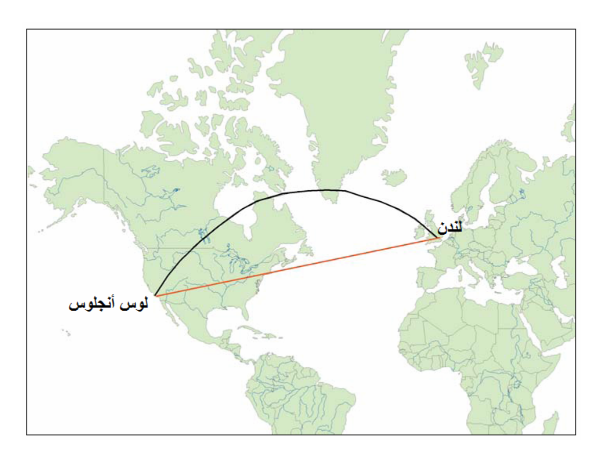
$$D = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2} \quad (14\text{-}1)$$



الشكل (١٤-٤) حساب المسافة المستوية بين نقطتين

لكن - وكما سبق الذكر - فأن الأرض لا يمكن اعتبارها أو افتراضها مستوي إلا في المسافات القصيرة جدا فقط. ومن ثم فعند حساب المسافات الكبيرة فيتم استخدام معادلة رياضية أخري لحساب المسافات علي مسطح كروي (معادلة الدائرة العظمي great circle). ففي الشكل (١٤-٥) نري تأثير كروية الأرض علي حساب المسافة، فالخط الأحمر يمثل المسافة المستقيمة المباشرة بين مدينتي لوس أنجلوس الأمريكية و لندن البريطانية وطوله ٩٨٠٧ كيلومتر، بينما الخط الأسود يمثل أقصر مسافة علي الكرة (دائرة عظمي) بينهما وطوله ٨٨٠٠ كيلومتر. بل أنه أيضا في بعض التطبيقات - التي تتطلب دقة عالية - يجب الأخذ في الاعتبار أن الأرض ليست كرة كاملة الاستدارة إنما هي الإليبسويد، وهنا يتم استخدام نوع ثالث من معادلات حساب المسافة. تجدر الإشارة أيضا إلي أن المسافة بين نقطتين في حالة تمثيل كلاهما بأبعاد ثلاثية (x,y,z) لن تكون مساوية للمسافة الأفقية بينهما في حالة تمثيل كلاهما بالأبعاد الأفقية فقط (x,y). وهذا الفرق بين كلتا المسافتين قد يكون كبيرا في حالة وجود فرق ارتفاع كبير بينهما، وغالبا فأن برامج نظم المعلومات الجغرافية تقوم بحساب كلتا المسافتين (في حالة قواعد البيانات ثلاثية الأبعاد) وتترك الحكم للمستخدم ذاته. وكذلك سيكون الحال عند حساب مساحات الأشكال طبقا لنوع قواعد البيانات الجغرافية (ثنائية أو ثلاثية الأبعاد). لكن بصفة عامة فأنه في تطبيقات حساب الملكيات فأن المساحة المعتمدة لقطعة أرض هي مساحتها الأفقية وليست مساحتها السطحية المجسمة.

من القياسات التي يتم الاعتماد عليها في فحص و تحليل الظاهرات الجغرافية المكانية تحديد الشكل shape. وفي هذا الإطار يتم الاعتماد علي معادلة حساب مؤشر الشكل أو مؤشر الاندماج compactness factor باستخدام المعادلة التالية:



الشكل (١٤-٥) تأثير كروية الأرض في حساب المسافات

$$s = P / 3.54\sqrt{A} \qquad (14\text{-}2)$$

حيث: s = معامل الاندماج، P = محيط الشكل، A = مساحة الشكل. فشكل الدائرة يعطي معامل اندماج يساوي ١ بينما الأشكال المنتفخة و الملتوية تعطي قيم أكبر.

تعد نماذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Models (أو اختصارا DEM) أفضل أنواع تمثيل التضاريس في نظم المعلومات الجغرافية. DEM هو تمثيل شبكي raster يكون فيه قيمة الخلية أو البكسل مساوية لقيمة ارتفاع سطح الأرض أو المنسوب، وبالتالي فهو يمثل تضاريس سطح الأرض من خلال مجال متصل من قيم الارتفاعات. ونماذج الارتفاعات الرقمية هامة للغاية في العديد من تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل التنبؤ بآثار ظاهرة الاحتباس الحراري وتقدير تأثيرات ارتفاع سطح البحر علي المدن الشاطئية. أما من حيث القياسات فأن نماذج الارتفاعات الرقمية يتم استخدامها في حساب الميول slopes والأوجه aspects. توجد عدة طرق رياضية لحساب الميول و الأوجه، واحدي هذه الطرق المعتمدة علي النقاط الثمانية المحيطة بالنقطة الأصلية (طريقة المتجاورات الثمانية eight neighbors) تتم كالتالي (الشكل ١٤-٦):

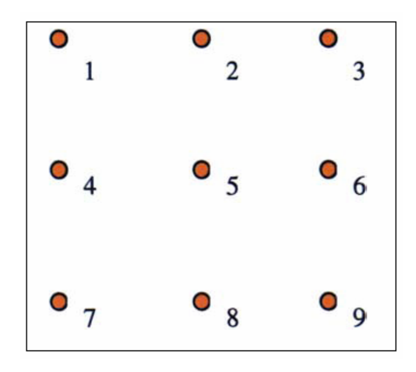
$$b = (z3 + 2z6 + z9 - z1 - 2z4 - z7) / 8D \qquad (14\text{-}3)$$

$$c = (z1 + 2z2 + z3 - z1 - 2z8 - z9) / 8D \qquad (14\text{-}4)$$

$$\tan(slope) = \sqrt{b^2 + c^2} \qquad (14\text{-}5)$$

$$\tan(aspect) = b / c \qquad (14\text{-}6)$$

حيث: D تمثل مسافة الخلية أو عرض البكسل، z تمثل قيمة الارتفاع عند كل خلية من الخلايا الثمانية التي تحيط بالخلية الأصلية (الخلية ٥ في الشكل التالي)، slope هو الميل، aspect هو الوجه.



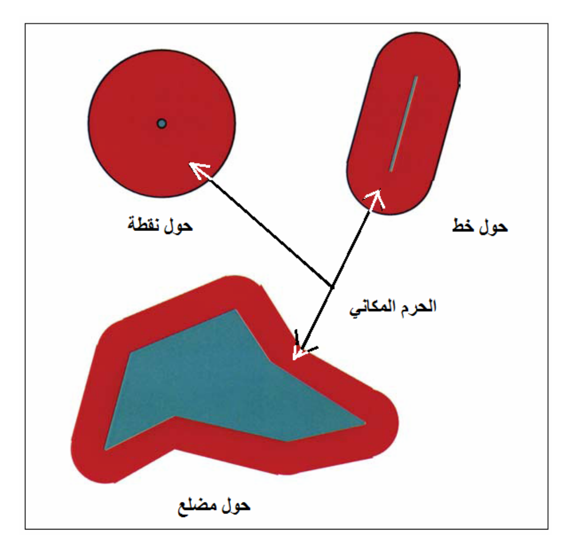
الشكل (١٤-٦) مثال لحساب الميل و الوجه بطريقة المتجاورات الثمانية

١٤-٤ التحويلات

تستخدم التحويلات transformations لتحويل أهداف و قواعد بيانات نظم المعلومات الجغرافية إلي منتجات مفيدة وذلك من خلال تطبيق قواعد بسيطة. وهذه التحويلات مفيدة للغاية لأنها قد تظهر معلومات لا يمكن بسهولة ملاحظتها في البيانات الأصلية.

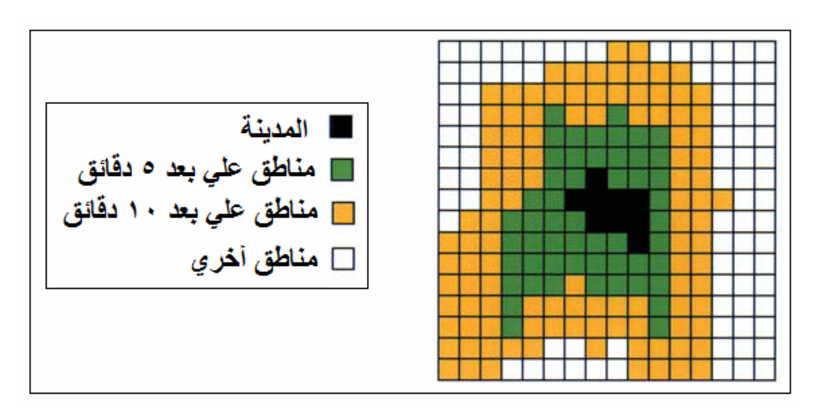
١٤-٤-١ الحرم المكاني

هذه العملية تقوم بتحديد حرم أو حزام مكاني buffer حول الأهداف (نقاط أو خطوط أو مضلعات) بقيمة أو مسافة يحددها المستخدم (الشكل ١٤-٧). وللحرم المكاني عدة استخدامات مثل تحديد مسافة معينة حول الطريق لمنع إقامة أية منشئات فيها (حرم الطريق)، تحديد مسافة معينة حول المجاري المائية لمنع إقامة أية منشئات قد تتعرض للخطر في حالات الجريان السطحي و السيول، تحديد مسافة معينة حول موقع متجر جديد لمعرفة عدد المنازل و عدد السكان الذين سيخدمهم هذا المتجر عند إنشاؤه.



الشكل (١٤-٧) الحرم المكاني للبيانات الخطية

يمكن تنفيذ وظيفة الحرم المكاني علي البيانات الخطية و البيانات الشبكية، حيث ستكون النتيجة عبارة عن مضلع في حالة البيانات الخطية و ستكون النتيجة في حالة البيانات الشبكية تصنيف كل خلية إن كانت تقع داخل الحرم أم خارجه. وأحيانا يكون الحرم المكاني مفيد للغاية للبيانات الشبكية، فعلي سبيل المثال فالشكل (١٤-٨) يوضح مدينة وكل خلية في هذه الشبكة تمثل قيمة الزمن المستغرق للوصول إليها. وبتطبيق وظيفة الحرم المكاني يمكن تحديد المناطق المحيطة بالمدينة التي يمكن الوصول إليها في مدة ٥ دقائق، والمناطق التي يمكن الوصول إليها في مدة ١٠ دقائق (أي أننا استخدمنا الحرم المكاني بناءا علي الزمن و ليس بناءا علي المسافة من هذه المدينة).

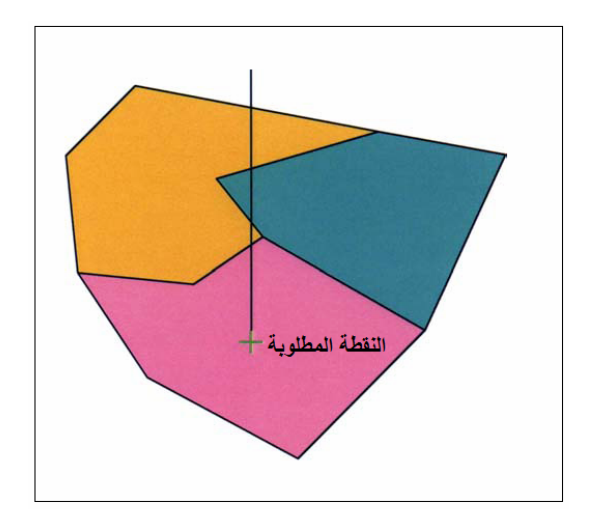


الشكل (١٤-٨) مثال للحرم المكاني للبيانات الشبكية

١٤-٤-٢ نقطة في مضلع

تهدف هذه الوظيفة - في أبسط صورها - لتحديد عما إذا كانت نقطة معينة تقع داخل أو خارج حدود مضلع محدد. وفي صورة أكبر من الممكن تحديد مضلع (من مجموعة مضلعات) تقع داخله كل نقطة (من مجموعة نقاط)، وفي حالة وجود عدة مضلعات متداخلة فمن الممكن للنقطة أن تقع داخل مضلع واحد أو أكثر من مضلع أو لا تقع داخل أي مضلع. وتستخدم هذه الوظيفة في الإجابة عن عدد من الأسئلة مثل: تمثل النقاط مواقع الإصابة بمرض معين بينما تمثل المضلعات حدود المدن، والسؤال هو ما عدد الإصابات بهذا المرض في كل مدينة من هذه المدن؟.

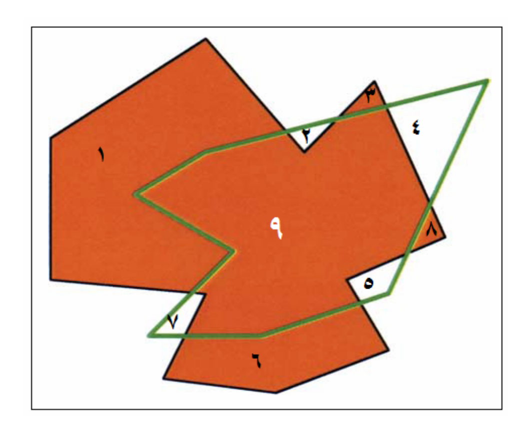
رياضيا يتم تنفيذ هذه الوظيفة من خلال رسم خط موازيا لاتجاه المحور y يصل إلي موقع النقطة المطلوبة، ثم يتم تحديد عدد نقاط التقاطع بين هذا الخط و كل مضلع من المضلعات (الشكل ١٤-٩). فإذا كان عدد التقاطعات مع مضلع عددا زوجيا فهذا يدل علي أن النقطة تقع خارج هذا المضلع ، وان كان عدد التقاطعات مع مضلع عددا فرديا فهذا يدل علي أن النقطة تقع داخل هذا المضلع.



الشكل (١٤-٩) طريقة تحديد موقع النقطة داخل مضلع

١٤-٤-٣ تداخل المضلعات

تمثل وظيفة تداخل المضلعات polygon overlay احدي وظائف فحص تداخل الأهداف المطلوبة في تحليلات نظم المعلومات الجغرافية سواء للبيانات الخطية أو للبيانات الشبكية. ففي البيانات الخطية يتم استخدام هذه الوظيفة لمعرفة إن كان مضلعين متداخلين أم لا، وأيضا تحديد منطقة التداخل. يمثل الشكل (١٤-١٠) مساحتين إحداهما تمثل تصنيف غطاءات الأراضي طبقا للاستخدام و الأخرى تمثل تصنيف الأراضي طبقا للمالك، وتستخدم وظيفة تداخل المضلعات للإجابة عن: ما هو نوع غطاء الأرض لقطعة أرض المالك المحدد؟ ما إجمالي مساحات الأراضي التي يملكها هذا المالك وتقع داخل نوع محدد من الغطاءات؟. وكما نري في الشكل فأن تداخل هذين المضلعين ينتج عنه ٩ مضلعات صغيرة، أربعة منهم (أرقام ١، ٣، ٦، ٨) يملكان خصائص المضلع الرئيسي الأول فقط، بينما هناك أربعة مضلعات (أرقام ٢، ٤، ٥، ٧) يملكان خصائص المضلع الرئيسي الثاني فقط، وهناك مضلع واحد فقط (رقم ٩) يملك خصائص كلا المضلعين الرئيسين، وهذا هو الذي يمثل منطقة التداخل المطلوبة. أما في حالة البيانات الشبكية فيتم إنشاء مجموعة بيانات dataset جديدة تحتوي تقسيم المنطقة إلي أجزاء (مساحات) صغيرة، حيث ستحمل كل مساحة في هذه المجموعة الجديدة نوعين من البيانات غير المكانية attribute من كلا من الشبكتين الأصليتين. ثم يتم تحديد المساحات الصغيرة التي تحمل كلا النوعين المطلوبين من البيانات غير المكانية، ومن ثم تحديد منطقة التداخل وتمثيلها في مجموعة البيانات الجديدة للإجابة عن أسئلة التداخل.



الشكل (١٤-١٠) تداخل المضلعات

١٤-٤-٤ الاستنباط المكاني

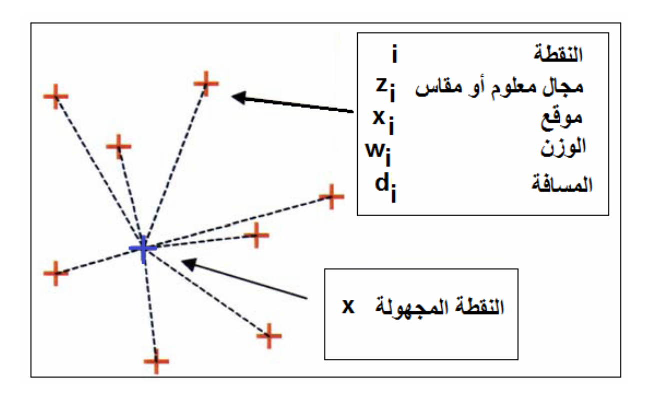
الاستنباط المكاني spatial interpolation هو العملية التي من خلالها يمكن تقدير قيمة مجال متصل عند موقع (أو نقطة) محددة لا توجد لها قياسات لهذا المجال. فعلي سبيل المثال تقدير قيمة درجة الحرارة عند موقع بالقرب من مجموعة محطات أرصاد مناخية، أو تقدير قيمة الارتفاع عند نقطة محددة بناءا علي نموذج ارتفاعات رقمية. وتوجد عدة طرق رياضية و إحصائية لعمل الاستنباط المكاني، و سنتعرض هنا لطريقتين منهما فقط:

طريقة مقلوب المسافة الموزونة:

تعد طريقة مقلوب المسافة الموزونة Inverse-Distance Weighting (أو اختصارا IDW) من أكثر طرق الاستنباط المكاني المطبقة في برامج نظم المعلومات الجغرافية. والنموذج الرياضي لهذه الطريقة يتكون من (الشكل ١٤-١١):

$$z(x) = \sum_i w_i z_i / \sum_i w_i \qquad (14\text{-}7)$$

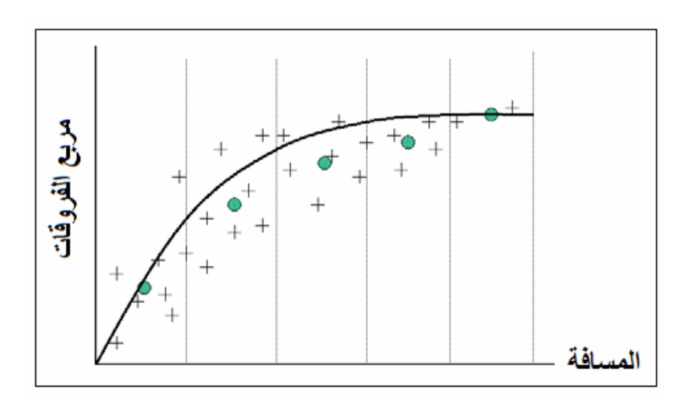
حيث: x النقطة المجهولة المطلوب عندها الحساب، z(x) قيمة المجال عند هذه النقطة المجهولة، i تمثل النقاط المعلومة التي يبلغ عددها n، z_i قيمة المجال (القياسات)عند كل نقطة معلومة، w_i قيمة الوزن عند كل نقطة معلومة ويتم حسابه علي أنه مقلوب المسافة بين النقطة المجهولة وكل نقطة من النقاط المعلومة مما يتيح وزنا أكبر للنقاط القريبة من الموقع المطلوب الحساب عنده.



الشكل (١٤-١١) طريقة مقلوب المسافة الموزونة للاستنباط المكاني

طريقة Kriging:

طريقة تعتمد أولا علي تحديد الخصائص الإحصائية للمجال المقاس، ثم تطبيق هذه الخصائص في حساب قيمة المجال عند النقطة (أو النقاط) المجهولة. وبصورة مبسطة يمكننا أن نبدأ بنقطة معينة x ونقارن قيمة المجال عندها مع قيم المجال عند النقاط القريبة منها. فإذا كان المجال ناعما smooth فلن يكون الفرق بين قيمته عند النقطة x (أي القيمة $z(x)$) وقيمته عند النقطة القريبة (أي القيمة $z(x_i)$) فرقا كبيرا، وهنا سنعتمد علي قيمة مربع الفرق $(z(x) - z(x_i))^2$ وسنبدأ في توقيع هذه الفروقات علي شكل بياني يسمي "شكل التغيرات" variogram (الشكل ١٤-١٢) ثم يتم استنباط نموذج رياضي يتوافق مع هذه الفروقات (أي معادلة رياضية دالة في المسافة). ولإتمام الاستنباط المكاني يتم تطبيق النموذج الرياضي الذي تم الحصول عليه لتقدير قيمة المجال عند النقطة المجهولة المطلوبة.



الشكل (١٤-١٢) مثال لشكل التغيرات في طريقة Kriging للاستنباط المكاني

الفصل الخامس عشر

التلخيص الوصفي و التصميم و الاستنتاج

١٥-١ مقدمة: المزيد من التحليل المكاني؟

مع ابتكار الكمبيوتر وتوافر قواعد البيانات الضخمة تطورت طرق التحليل المكاني إلي أبعد من تلك الطرق البسيطة التي ناقشناها في الفصل السابق. وظهر مصطلح "التنقيب في البيانات data mining"ليدل علي فحص البيانات بصورة أكثر عمقا لمحاولة اكتشاف وجود أية قيم شاذة أو وجود أنماط معينة في التوزيع. فعلي سبيل المثال يتم تطبيق "التنقيب في البيانات" في التطبيقات التجارية لاكتشاف حالات الاشتباه في سرقة كروت الائتمان credit cards. فمع كل عملية استخدام لكارت الائتمان يمكن معرفة مكان استخدامه، ويبدأ الشك عند حدوث عدة عمليات شراء بمبالغ كبيرة في فترة زمنية قصيرة وفي مكان بعيد عن موقع إقامة صاحب الكارت الأصلي. وهنا قد يكون هذا التغير المفاجئ غير المعتاد anomalies في نمط البيانات الرقمية دليلا علي وجود مشكلة (سرقة كارت الائتمان في هذه الحالة). فأسلوب التنقيب في البيانات يهدف لاكتشاف الأنماط و التغيرات المفاجئة في قواعد البيانات الرقمية التي قد تعطي معلومات هامة للغاية. وتجدر الإشارة إلي أن هذا الأسلوب كان وراء اكتشاف ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي.

١٥-٢ التلخيص الوصفي

١٥-٢-١ المراكز

إذا أردنا أن نلخص - بصورة رقمية - حالة الطقس في منطقة فسنستخدم قيمة المتوسط average or mean، فالمتوسط هو أحد مؤشرات قياس ما يسمي بالنزعة المركزية central tendency والتي تهدف لتلخيص مجموعة من البيانات في صورة رقم واحد. ومن المؤشرات الأخرى للنزعة المركزية الوسيط median وهو القيمة التي تتوسط مجموعة من الأرقام بعد ترتيبها تنازليا أو تصاعديا، أو هو القيمة التي تقسم مجموعة من الأرقام إلي قسمين بحيث يكون عدد القيم الأكبر منها مساويا عدد القيم الأصغر منها. أيضا يمكن استخدام مؤشر المنوال mode وهو القيمة التي تتكرر أكثر من غيرها من القيم، أو هو القيمة الأكثر شيوعا أو الأكثر تكرارا بين مجموعة الأرقام.

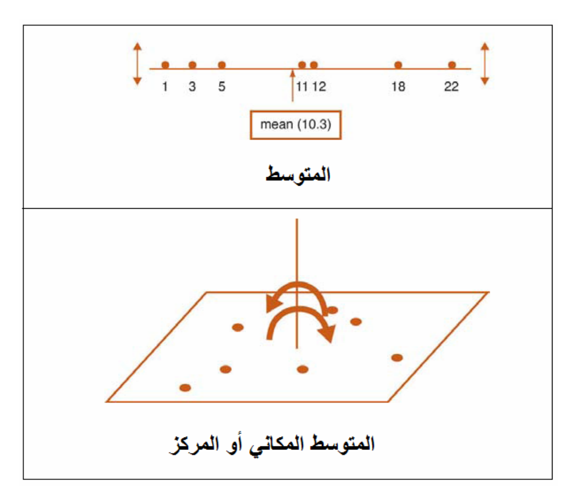
للبيانات المكانية يوجد مقابل مكاني (أي ثنائي الأبعاد) لمؤشر المتوسط، وهو أحد مؤشرات المراكز centers التي تهدف لتلخيص مجموعة من المواقع (لمجموعة من النقاط)

لتحديد مركزها المكاني. يعد المتوسط المكاني centroid or mean center هو النقطة المكانية التي تتوازن عندها مجموعة المواقع (النقاط) في مستوي ثنائي الأبعاد كما أن المتوسط هو نقطة توازن مجموعة القيم (الشكل ١٥-١). ويتم حساب إحداثيات نقطة المتوسط المكاني الموزون (في حالة أخذ أوزان في الاعتبار) بمثل طريقة حساب المتوسط العددي الموزون، إلا أنه سيكون هناك معادلة لكل إحداثي (x,y) لهذه النقطة المركزية:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i / w_i \qquad (15\text{-}1)$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} y_i w_i / w_i \qquad (15\text{-}2)$$

حيث: x_i الاحداثي السيني للنقطة رقم i ، y_i الاحداثي الصادي للنقطة رقم i ، w_i الوزن للنقطة رقم i ، n عدد النقاط.



الشكل (١٥-١) المتوسط المكاني أو المركز

١٥-٢-٢ التشتت

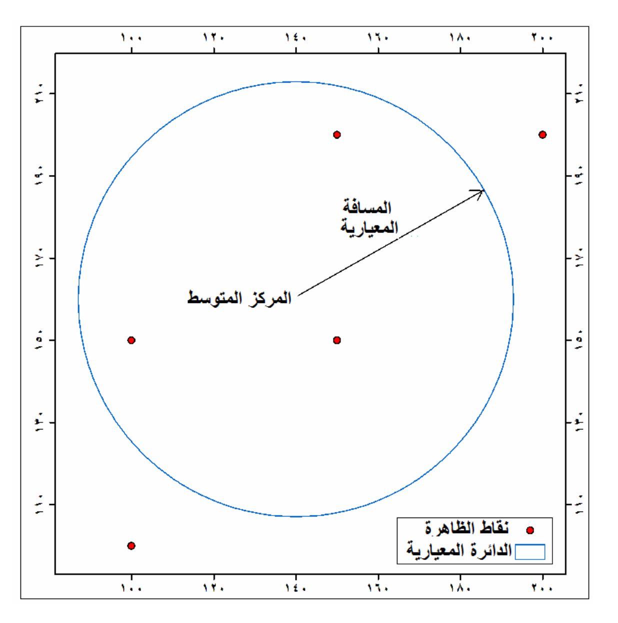
إن المتوسط بمفرده لا يقدم صورة دقيقة عن مجموعة بيانات من حيث طبيعة توزيعها وتغير قيمها. يقصد بالتشتت في أي مجموعة من القيم dispersion التباعد بين مفرداتها أو التفاوت أو الاختلاف بينها. ويكون التشتت صغيرا إذا كان التفاوت بين قيم الظاهرة قليلا أي متى كانت القيم قريبة من بعضها البعض، ويكون التشتت كبيرا متى كانت القيم بعيدة عن بعضها أو متفاوتة في قيمها بدرجة كبيرة. و تهتم مقاييس التشتت و التباين بالتعرف علي مقدار انتشار البيانات أو القيم. ومن أهم و أشهر مؤشرات قياس التباين قيمة الانحراف المعياري standard deviation والذي يتم حسابه بالمعادلة التالية:

$$s = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \qquad (15\text{-}3)$$

وفي حالة أخذ الأوزان في الاعتبار تصبح معادلة الانحراف المعياري كالتالي:

$$s = \sqrt{\sum_i w_i (x_i - \bar{x})^2 / \sum_i w_i} \qquad (15\text{-}4)$$

للبيانات المكانية ثنائية الأبعاد فأن مفهوم الانحراف المعياري يتحول إلي مفهوم المسافة المتوسطة من المركز mean distance from the centroid (أو المسافة المعيارية standard distance). فالمسافة المعيارية مؤشر لقياس مدي تباعد أو تركز مفردات الظاهرة مكانيا. و غالبا يتم استخدام قيمة المسافة المعيارية لرسم دائرة تسمي الدائرة المعيارية standard circle والتي يمكن من خلالها معرفة مدي تركز أو انتشار البعد المكاني للظاهرة، ويكون مركز هذه الدائرة هو موقع (إحداثيات) المركز المتوسط (الشكل ١٥-٢). وكلما كبرت قيمة المسافة المعيارية و كبر حجم الدائرة المعيارية كلما دل ذلك علي زيادة الانتشار و التشتت المكاني لتوزيع الظاهرة، و العكس صحيح أيضا.



الشكل (١٥-٢) المسافة المعيارية و الدائرة المعيارية

١٥-٢-٣ قياس الأنماط: البيانات المكانية للنقاط

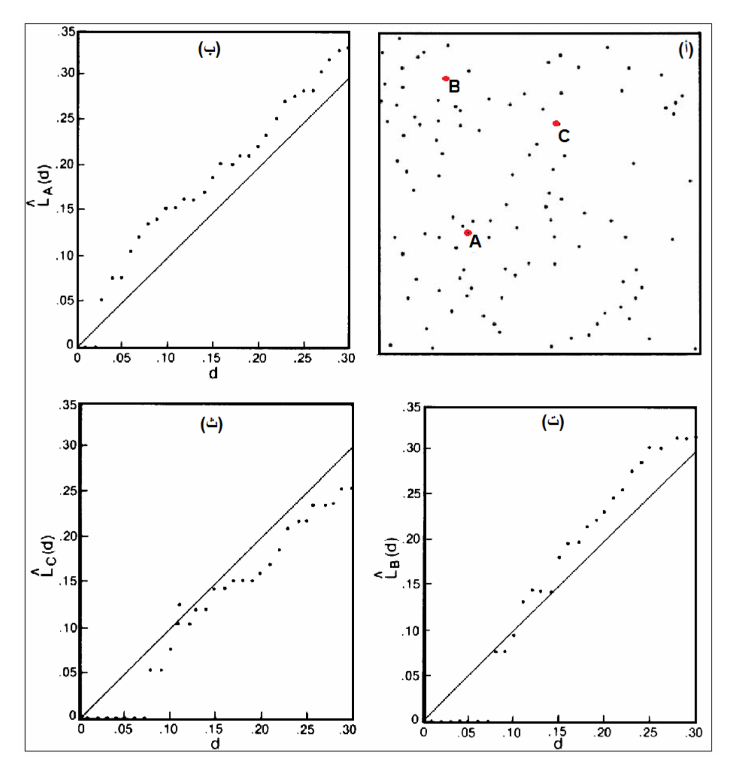
عند فحص مواقع بعض الظاهرات (الممثلة بواسطة نقاط) من المهم اكتشاف إن كان هناك "نمط pattern" معين لتوزيع هذه النقاط. وبمعني آخر هل وجود نقطة من هذه النقاط كان سببا في وجود نقطة أخري؟. وبصفة عامة فأن الأنماط تنقسم إلي ثلاثة أنواع:

- النمط العشوائي random : مواقع النقاط مستقلة عن بعضها البعض، وكل المواقع لها نفس الاحتمالية المتساوية.
- النمط المركز أو المجمع clustered : بعض المواقع لها احتمالية أكبر من غيرها، فوجود نقطة قد يجذب نقاط أخري بجوارها.
- النمط المتباعد أو المنتظم dispersed : وجود نقطة قد يقلل من احتمالية وجود نقاط أخري في محيطها.

توجد عدة طرق و أساليب لقياس الأنماط، وسيتم التركيز في هذا الجزء علي حالة فحص مواقع النقاط (البيانات المكانية فقط) دون أخذ البيانات غير المكانية attribute في الاعتبار (سيتم ذلك في الجزء القادم). ومن هذه الطرق ما يعرف باسم دالة k، وهي الدالة function التي تهدف لتحديد مدي التجمع clustering, والتشتت dispersion بين مواقع مجموعة من النقاط. ويتم حساب الدالة k(d) بقسمة العدد المتوقع للنقاط في حدود مسافة معينة d علي كثافة النقاط. وفي حالة النمط العشوائي فأن هذا الرقم سيكون πd^2 ومن ثم فأننا نقوم بتوقيع الدالة:

$$L(d) = \sqrt{k(d) / \Pi} \qquad (15\text{-}5)$$

الشكل (١٥-٣ أ) يوضح مواقع ثلاثة أشجار A, B, C في غابة، بينما الأشكال ب، ت، ث تمثل قيمة الدالة L(d) لكل شجرة من هذه الأشجار مقارنة بالمسافة d علي المحور الأفقي (أي أن كل شكل يمثل توزيع أشجار الغابة مقارنة بأحدي الشجرات الثلاثة قيد الدراسة). نلاحظ في الشكل (ب) وجود أشجار قليلة بالقرب من الشجرة A في المسافات القريبة، لكن تزداد أعداد الأشجار في المسافات الأكبر من ٣٠% من منطقة الدراسة، مما يدل علي وجود درجة من التركز أو التجمع. أما الشكل (ت) للشجرة B فلا يوجد أشجار قريبة لكن يوجد نوع من التركز للمسافات البعيدة. والشكل (ث) للشجرة C يوضح أعدادا بسيطة من الأشجار المتواجدة علي جميع المسافات.



الشكل (١٥-٣) تحليل الأنماط باستخدام الدالة k

١٥-٢-٤ قياس الأنماط: البيانات غير المكانية للنقاط

يتغير مفهوم قياس الأنماط بدرجة كبيرة عند أخذ البيانات غير المكانية attribute في الاعتبار، فهنا سيكون السؤال عن هل القيم الكبيرة (للبيانات غير المكانية) متقاربة أو مركزة أم هي متباعدة و مشتتة. وفي هذا الإطار فأن معامل موران Moran Index يعد من أفضل مقاييس قياس الأنماط، فهو يستطيع التمييز بين: (أ) الأنماط ذات الارتباط المكاني الموجب حيث القيم الكبيرة تكون محاطة بقيم كبيرة أيضا وكذلك الحال للقيم الصغيرة، (ب) الأنماط العشوائية حيث القيم المتجاورة غير مرتبطة بعضها البعض، (ج) الأنماط المشتتة أو المتباعدة حيث القيم الكبيرة تكون محاطة بقيم صغيرة و العكس صحيح

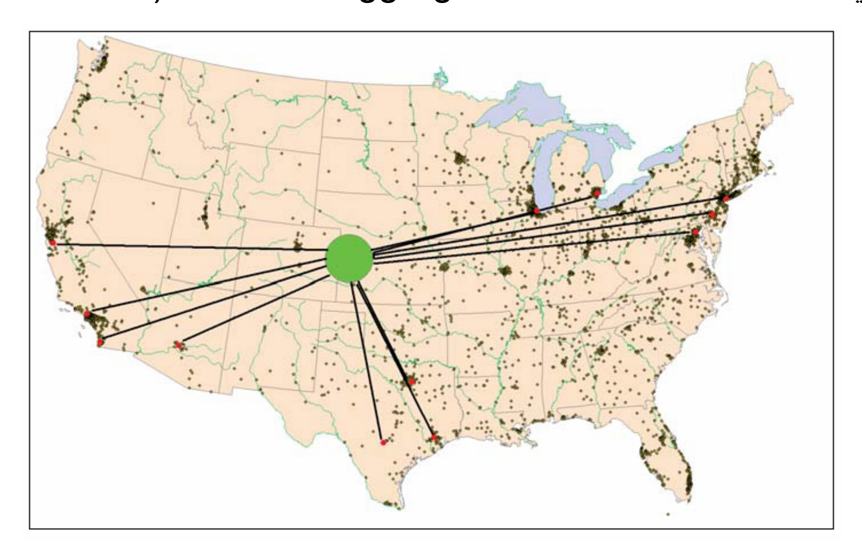
١٥-٣ الموقع الأمثل

يتم استخدام التحليل المكاني (خاصة قياس الأنماط) في مجالات أخري تختلف عن مجرد اكتشاف تخليل الأنماط واكتشاف الشاذات أو التغيرات المفاجئة، إنما تتعدي ذلك إلي محاولة الوصول لإنشاء تصميم أفضل. ومثل هذه الأهداف للتحليل المكاني تشمل تقليل زمن السفر بين نقطتين، تقليل تكلفة إنشاء مواقع جديدة، تعظيم جدوى الاستفادة. وفي نظم المعلومات الجغرافية يتم تطبيق طرق و أساليب التصميم بهدف دعم اتخاذ القرار، ولذلك تسمي هذه الطرق

بنظم دعم القرار المكاني spatial-decision support systems (أو اختصارا SDSS). وتطبق طرق SDSS لتوفير الاسترجاع feedback (أي آراء الجمهور) عن تنفيذ مقترحات متعددة، ومن ثم تقويم كل مقترح منهم. وتنقسم طرق التصميم إلي عدة مجموعات تشمل إيجاد أفضل موقع لنقطة، إيجاد أفضل مسار في شبكة، إيجاد أفضل مسار يمر بعدد من المجالات المختلفة.

١٥-٣-١ أفضل موقع لنقطة

يطلق علي تطبيقات إيجاد أفضل optimum موقع لنقطة مصطلح مشاكل "الموقع-التوزيع location-allocation" حيث أنها تتطلب اتخاذ قرارين: (١) أين يمكن وضع النقطة الجديدة، (٢) كيف يمكن توزيع الخدمة مركزيا. فعلي سبيل المثال في إنشاء سوبر ماركت جديد فالسؤال هو ما هو أفضل موقع للإنشاء، و أيضا كيف يمكن التنبؤ باختيارات العملاء من كل خيارات التسوق المتاحة في هذه المنطقة. والقرار الثاني يتم بناءا علي نماذج معروفة باسم نماذج التفاعل المكاني وهي مطبقة كثيرا في تطبيقات بحوث الأسواق. والشكل (١٥-٤) يوضح مثالا لتطبيقات اختيار أفضل موقع، حيث يتم البحث عن أفضل مكان لإنشاء خدمة مركزية جديدة لخدمة عملاء متفرقين (في أكبر ١٢ مدينة بالولايات المتحدة الأمريكية). ومن الممكن اعتبار أن وظيفة المركز المتوسط الموزون تعد من أبسط طرق اختيار الموقع المثالي في بعض التطبيقات. أيضا توجد نماذج رياضية أخري لحل المشكلة من خلال اختيار موقع النقطة الذي يقلل إجمالي المسافات المستقيمة minimum aggregate travel (أو اختصارا MAT).

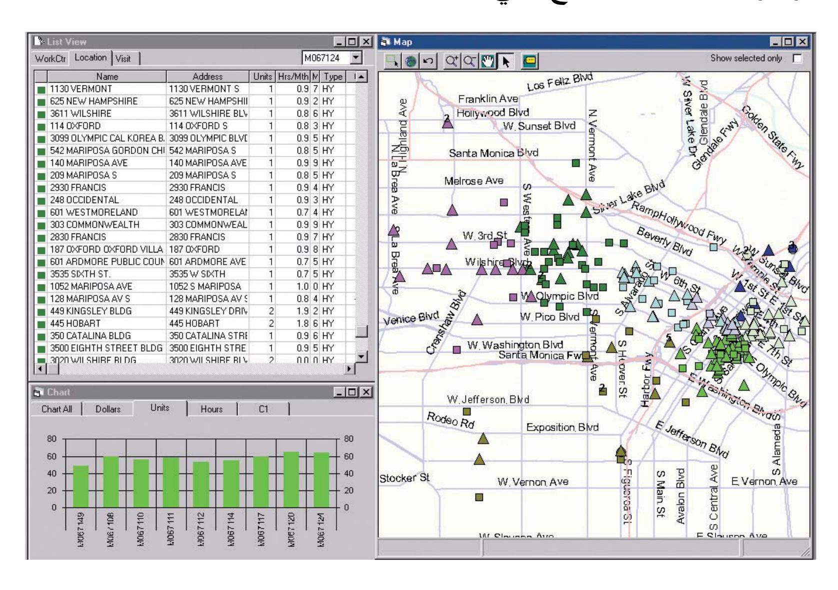


الشكل (١٥-٤) مثال لاختيار أفضل موقع لنقطة

١٥-٣-٢ أفضل مسار

من تطبيقات التصميم بالاعتماد علي نظم المعلومات الجغرافية إيجاد أفضل مسار، فعلي سبيل المثال تصميم أفضل مسار لسيارات خدمة معينة (سيارات المدارس وسيارات توزيع البريد). وفي هذه التطبيقات توجد نقطة بداية و نقطة نهاية، وقد توجد عدة نقاط للتوقف علي المسار. وتعتمد هذه التطبيقات علي مفهوم أقصر مسار shortest path يجعل المسافات المقطوعة أقل ما يمكن، وأحيانا يتم الاعتماد علي إيجاد المسار الذي يقلل زمن الرحلة. وهنا تكون البيانات غير المكانية attribute للشبكة ذات دور مؤثر، مثل طول الطريق و السرعة المسموح بها، عدد الحارات بالشارع، هل الطريق اتجاه واحد أم اتجاهين، عدد التقاطعات أو إشارات المرور علي الطريق....الخ. الآن أصبح تطبيق إيجاد أقصر مسار من التطبيقات الشائعة لدي عملاء نظم المعلومات الجغرافية، وتوجد مواقع علي الانترنت (مثل www.mapquest.com) تقدم هذه الخدمة، كما أن هذه الخدمة أصبحت متاحة في تطبيقات الملاحة باستخدام التليفون المحمول أيضا.

من أبسط طرق إيجاد أفضل مسار ما يعرف بمشكلة رجل المبيعات المسافر traveling-salesman problem (أو اختصارا TSP). في هذا السيناريو يوجد نقطة بداية و عدد من المواقع الواجب زيارتها حيث المسافة معلومة بين كل موقعين، والمطلوب إيجاد أفضل مسار يقلل المسافة الإجمالية المقطوعة. وتوجد عدة طرق رياضية لحل هذه المشكلة. والشكل (١٥-٥) يقدم مثالا لتطبيقات إيجاد أفضل مسار لأحدي شركات صيانة المصاعد الأمريكية (Schindler's GIS) حيث يتم يوميا إعداد مسار بتحركات كل فني من فنيين الشركة لزيارة عدد من المواقع التي تتطلب صيانة المصاعد بها.



الشكل (١٥-٥) مثال لاختيار أفضل مسار

١٥-٤ الاختبارات الإحصائية

يعد الاستنتاج inferential من أهم أدوات علم الإحصاء، فهو يستخدم المعلومات المستنتجة من العينة للوصول إلي توصيات عامة عن المجتمع الكبير الذي تمثله هذه العينة. فعلي سبيل المثال إذا أخذنا عينة عشوائية مكونة من ١٠٠٠ شخص وتم سؤالهم عن الشخص الذي سيرشحونه في الانتخابات القادمة، وأفاد ٤٥% منهم أنهم سيختارون المرشح "أ". فيقول لنا علم الإحصاء أن ٤٥% من الناخبين سيختارون هذا المرشح، لكن أيضا يفيدنا علم الإحصاء بأن هناك "هامش خطأ margin of error" أو تقدير لكيف سيكون الاختيار بالنسبة لمجتمع الناخبين كله وليس للعينة المختارة. وغالبا يعبر عن هامش الخطأ بمصطلح "حدود الثقة confidence limits"، أي نقول أنه بنسبة ثقة ٩٥% سيكون المجتمع مماثل للعينة. وفي أحد طرق التحليل الإحصائي (توزيع ذو الحدين) فأن حدود الثقة التي نسبتها ٩٥% تساوي ٣%، بمعني أنه يمكننا أن نقول أن نسبة من سيصوتون للمرشح "أ" ستكون بين ٤٢% و ٤٨% من حجم مجتمع الناخبين.

بالمثل فأن معظم الاختبارات التي يتم تطبيقها علي البيانات المكانية (خاصة اختبارات تحليل الأنماط) يكون لكل منها حدود ثقة معينة، وغالبا فأن هذا يكون ضمن النتائج التي توفرها معظم برامج نظم المعلومات الجغرافية. كما أنه توجد برامج إحصائية مخصصة لاختبار البيانات المكانية (مثل برنامج GeoDa من موقع www.csiss.org).

الفصل السادس عشر

النمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

١٦-١ مقدمة:

بداية يجب الإشارة إلي أن النمذجة المكانية تختلف تماما عن نماذج البيانات data model التي تعرضنا لها في الفصل الثامن، فتلك النماذج تهتم بكيفية تمثيل البيانات داخل نظم المعلومات الجغرافية، أي بمعني آخر فهي نماذج توضح كيف "يبدو" العالم. أما مصطلح النمذجة المكانية spatial modeling فيدل علي كيفية بناء نماذج تبين لنا كيف "يعمل" العالم وتساعد في حل المشكلات الحقيقية التي نواجهها. والنماذج المكانية قد تشمل نماذج العمليات الاجتماعية مثل حركة السيارات علي الطرق السريعة، وقد تشمل عمليات التصميم للبحث عن أفضل البدائل مثل إيجاد أفضل موقع لمنشأة جديدة، وقد تشمل إجراء عمليات حسابية لمؤشرات التنبؤ المستقبلي مثل نمذجة تغيرات المياه الجوفية في منطقة محددة. وفي هذا الإطار فأن جوهر النمذجة المكانية يكمن في إدارة البيانات الجغرافية من خلال عدة مراحل. ففي بعض الأحيان قد تتكون النمذجة من تحليل بسيط للمدخلات والحصول علي نتائج، وفي أحيان أخري قد تشمل عملية النمذجة حلقة loop من الخطوات لمحاكاة النمذجة و تقدير تأثير عدة عوامل علي العملية. وبالطبع فأن النمذجة المكانية تتم في عادة بيئة رقمية باستخدام الكمبيوتر و البرامج، ومن ثم فالبعض يستخدم مصطلح "الحسابات الجغرافية geo-computation" لوصف تطبيقات النماذج الحسابية علي المشكلات الجغرافية.

تعتمد النمذجة المكانية علي مستوي التفاصيل المتاح في قاعدة البيانات المستخدمة، وهو ما يطلق عليه درجة الوضوح المكاني spatial resolution كما سبق التعرض إليه في الفصول السابقة. وأيضا تعتمد عملية النمذجة علي درجة الوضوح المؤقتة temporal resolution وهي التي تدل علي أقصر فترة زمنية تم عندها رصد تغيرات الظاهرات الجغرافية، فبعض النماذج المكانية تكون ديناميكية لنمذجة التغيرات الزمنية لظاهرة للتنبؤ بتغيراتها المستقبلية. وكلا درجتي الوضوح (المكانية و المؤقتة) تتحكمان أيضا في التكلفة الاقتصادية لعملية النمذجة، فهما يحددان حجم و سعر البيانات المطلوبة قبل بدء النمذجة input (فمثلا البيانات ذات الوضوح المكاني العالي high-resolution ستكون أغلي تكلفة من تلك ذات الوضوح المكاني المنخفض) وأيضا الوقت و المواصفات الفنية المطلوبين لأجهزة الكمبيوتر المستخدمة في النمذجة.

يتم بناء النماذج لعدة أسباب، فالنموذج قد يستخدم لعملية اتخاذ القرار التي يريد المستخدم فيها إيجاد حل لمشكلة مكانية بناءا علي أفضل السيناريوهات الممكنة. ثانيا فيمكن للنموذج أن يقدم للمستخدم التجريب و التعامل مع نموذج يحاكي العالم الحقيقي، وهذا عندما تكون تكلفة عمل التجارب الحقيقية عالية أو عندما يكون الحصول علي النتائج من النموذج أسرع. أيضا فالنماذج تعطي للمستخدم إمكانية فحص و تحليل الظاهرات الديناميكية، فكلما تغير المدخلات أمكن للمستخدم معرفة كيف ستتغير النتائج. وهذه النقطة الأخيرة هامة للغاية و كثيرا ما يتم استخدامها في عمل المحاكاة وعرض نتائج النمذجة للجمهور وللعامة غير المتخصصين. فالشكل (١٦-١) يعرض "اللوحة الحية live table" وهي لوحة يتم إسقاط شاشة الكمبيوتر عليها، وتوضح في هذا المثال مواقع مصادر التلوث في منطقة محددة، وهذه اللوحة مرتبطة بكمبيوتر موجود عليه برنامج نموذج هيدرولوجي بحيث أن المستخدم يستطيع أن يحرك احدي النقاط الممثلة لمصدر تلوث (علي اللوحة) فيعمل برنامج الكمبيوتر لتعديل نموذج التلوث ويعيد إسقاط النتائج علي اللوحة مرة أخري بصورة ديناميكية. وفي هذا المثال يتم استخدام النماذج المكانية لعمل المحاكاة الدينامكية لظاهرة و إمداد متخذي القرار بتمثيل مرئي ممتاز لكافة البدائل المستقبلية التي يمكن اتخذها.



شكل (١٦-١) مثال لعرض نتائج نموذج مكاني ديناميكي للجمهور

ويختلف التحليل عن النمذجة، فطرق التحليل التي تم التعرض لها في الفصلين السابقين تتميز بأنها (أ) أساليب ثابتة static أي لنقطة زمنية محددة، (ب) يفيد البحث عن الأنماط والتغيرات المفاجئة في تكوين رؤى و فرضيات جديدة، (ج) يفيد التنقيب في البيانات في اكتشاف ما لا يمكن رؤيته بسهولة. أما النماذج المكانية فتتميز بأنها (١) تتكون من مراحل

متعددة ربما لتمثيل الظاهرات زمنيا، (٢) تعتمد علي الرؤى و الفرضيات، (٣) تهدف لتجربة السياسات و السيناريوهات المختلفة.

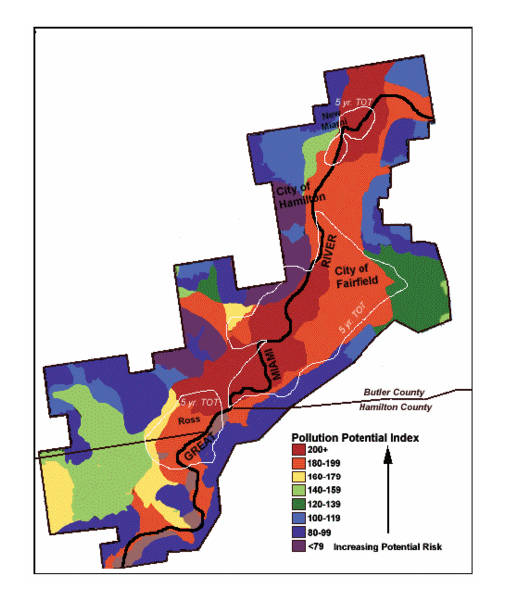
١٦-٢ أنواع النماذج

١٦-٢-١ النماذج الثابتة و المؤشرات

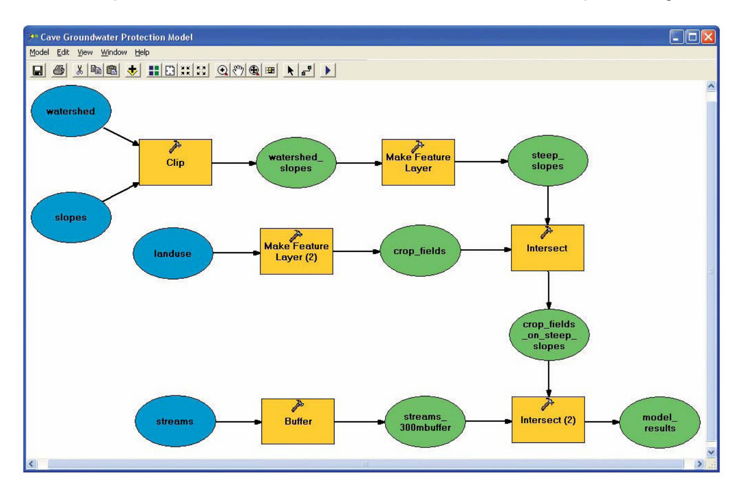
يعبر النموذج المكاني الثابت عن نقطة محددة في الزمن، وعادة ما يتكون من عدد من المدخلات للوصول إلي نتيجة واحدة. وبمعني آخر فلا يوجد مراحل زمنية متعددة و لا حلقات تكرارية في النموذج الثابت، وتكون النتائج هامة للغاية كمؤشرات مستقبلية. فعلي سبيل المثال تقدم المعادلة التالية (المعادلة العالمية لتأكل التربة USLE) نموذج لخسارة التربة soil loss عند نقطة محددة بناءا علي خمسة متغيرات كمدخلات:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \qquad (16\text{-}1)$$

حيث: A يمثل معدل التعرية أو التآكل المستقبلي، R معامل المطر، K معامل تعرية التربة، LS معامل تغير الميل، C معامل إدارة المحاصيل، P معامل الإدارة الزراعية. وتقدم المعادلة مثالا لنموذج مكاني حيث أن كل عامل من المدخلات (المتغيرات) يعتمد علي المكان، أي ستتغير قيمته من موقع إلي آخر. فإذا نظرنا بتمعن للمعادلة نجد أن أفضل تطبيق لها يجب أن يتم داخل نظام معلومات جغرافي، فمثلا المعامل LS يتطلب الحسابات من نموذج ارتفاعات رقمية. كما أن عرض المدخلات و النتائج أيضا من خلال تمثيل رقمي سيكون هو الخيار الأفضل بدلا من العرض في صورة جداول إحصائية أو خرائط ورقية. أيضا من الشائع أن يتم دمج بيانات النموذج مع أنواع أخري من البيانات لإجراء تحليلات أخري، ومن ثم فأن هذا يتطلب نظام معلومات جغرافي (سيكون أفضل بالطبع من استخدام برامج الحسابات مثل الإكسل لتطوير النتائج). وعادة يتم استخدام النماذج المكانية الثابتة في النمذجة البيئية، فعلي سبيل المثال فنموذج DRASTIC يقوم بحساب معامل تأثر (أو نقص) المياه الجوفية groundwater vulnerability model اعتمادا علي عدة مدخلات (الشكل ١٦-٢). ومن أهم مميزات برامج نظم المعلومات الجغرافية أنها تتيح برامج خاصة لبناء النماذج، مثل برنامج "بناء النماذج Model Builder" المتوافر في برنامج ArcGIS من شركة ايزري. فبعد بناء النموذج (الشكل ١٦-٣) يتم تطبيقه علي عدد من المدخلات (عدة مناطق) بصورة آلية.



شكل (١٦-٢) نموذج معدل تأثر المياه الجوفية: مثال للنماذج المكانية الثابتة



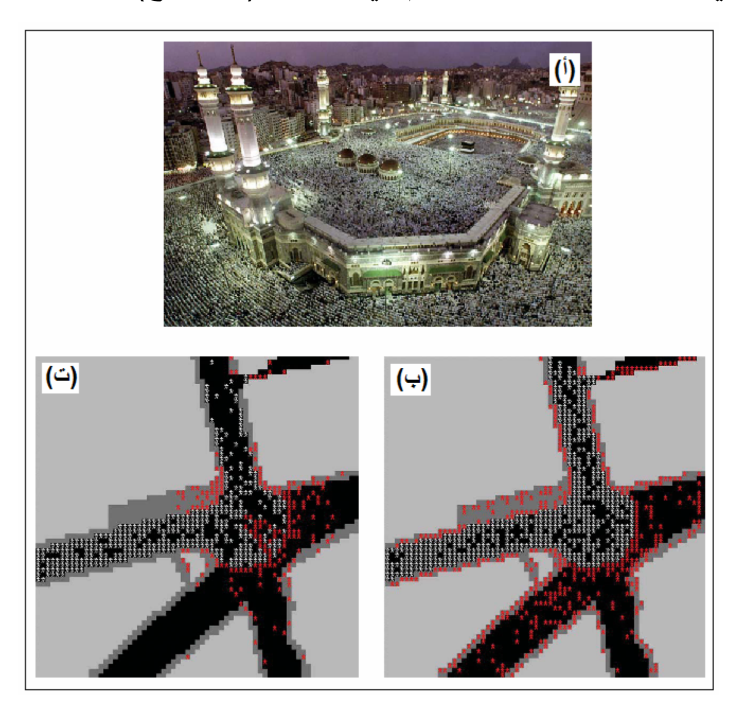
شكل (١٦-٣) نموذج لبرنامج بناء النماذج في برنامج ArcGIS

١٦-٢-٢ النماذج الفردية و الإجمالية

تعتمد النماذج الفردية علي نمذجة ظاهرة واحدة، بينما النماذج الإجمالية تعتمد علي نمذجة عدد من الظاهرات في إطار متكامل. وبصفة عامة فان نمذجة النظم الفيزيقية أو الطبيعية تتطلب أسلوب النمذجة الإجمالية حيث يجب نمذجة جميع الظاهرات التي تؤثر كلا منها علي الأخرى، بينما النماذج الفردية غالبا ما تكون مناسبة للتطبيقات البشرية.

يطلق علي النماذج الفردية مصطلح نماذج خدمة العميل agent-based models (أو اختصارا ABM) وأيضا تسمى بنماذج العميل المستقل autonomous agent models. ومع تزايد المواصفات الفنية للكمبيوترات الشخصية وتوافر لغات وإمكانيات البرمجة، أصبح من السهولة تطبيق نماذج ABM بصورة فردية لمستخدم واحد. ومن أمثلة

تطبيقات النماذج الفردية تلك النماذج التي تهدف للتحكم في حركة الحشود الضخمة، مثل موسم الحج في مدينة مكة المكرمة (الشكل ١٦-٤ أ) ومهرجان Notting Hill الذي يعقد سنويا في غرب مدينة لندن. والشكل (ب) يعرض نموذج محاكاة لحركة الجمهور في ذلك المهرجان والذي بعد دراسته أمكن وضع تصميم للحواجز التي تهدف لتنظيم حركة المشاة و تفتيت الموجة البشرية الهائلة إلي فئات أصغر يسهل التحكم في حركتها (الشكل ج).

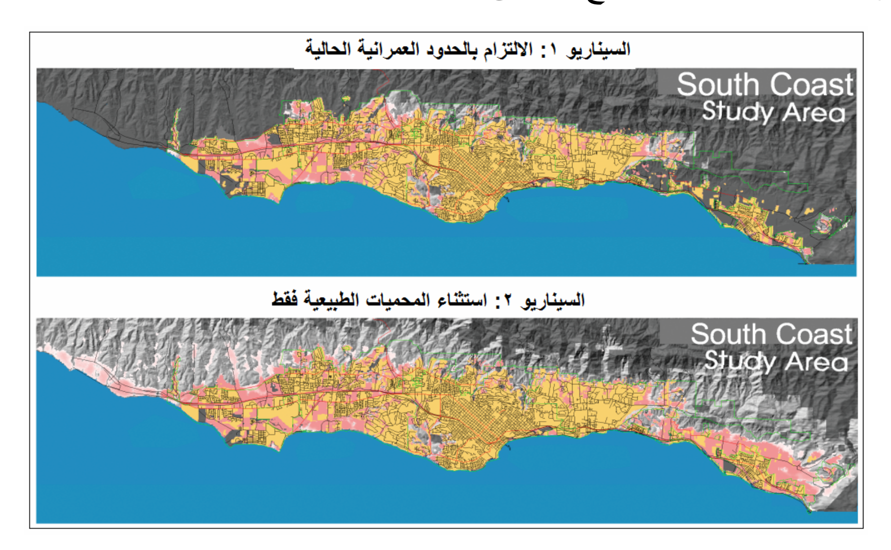


شكل (١٦-٤) نماذج لتطبيقات النماذج المكانية الفردية

١٦-٢-٣ النماذج الخلوية

في هذا النوع من النماذج المكانية يتم التعامل مع سطح الأرض من خلال الخلايا، ولذلك سميت بالنماذج الخلوية cellular models. وهنا تكون كل خلية cell في الشبكة raster تحمل داخلها عدد من الحالات الممكنة والتي تتغير مع الزمن بناءا علي تطبيق عدد من القواعد الانتقالية. وعادة ما تكون هذه القواعد مرتبطة بحالة الخلايا المجاورة والتي من خلالها يمكن التنبؤ بحالة الخلية قيد الدراسة. ومن أشهر تطبيقات النماذج الخلوية دراسات محاكاة النمو العمراني (الشكل ١٦-٥). فحالة كل خلية (قطعة أرض) تعتمد علي عدة عوامل مثل الميل و طرق المواصلات وموقعها بالنسبة للمخططات الجديدة، والأهم هنا هو موقعها بالنسبة للمناطق التنموية الأخرى. وبدراسة حالة الخلايا المجاورة يمكن التنبؤ بحالة الخلية - قيد الدراسة - وتحديد هل ستبقي هذه الخلية ضمن نوع الخلايا الساكنة أم أنها ستنتقل إلي حالة الخلايا النشطة (أي هل ستبقي كما هي أم هي مرشحة لتكون ضمن مناطق النمو العمراني

المستقبلي). وبالطبع فأن أي نموذج يجب معايرته و اختباره علي بيانات حقيقية لتحديد أفضل قيم عناصره والتأكد من كونه يصلح للتطبيق بكفاءة.



شكل (١٦-٥) مثال لتطبيقات النماذج الخلوية في التنبؤ بالنمو العمراني

(مدينة سانتا باربرا بولاية كاليفورنيا الأمريكية)

١٦-٢-٤ النمذجة الكارتوجرافية وجبر الخرائط

تتكون عملية النمذجة من عدد من خطوات أو مراحل إدارة البيانات في إطار واحد لهدف محدد. وقد تتكون هذه المراحل من عدد متغير من أساليب التحليل المكاني التي توفرها نظم المعلومات الجغرافية. في الفصل الرابع عشر تم تقسيم هذه الأساليب إلي ستة أنواع بناءا علي الأهداف الإدراكية لكل أسلوب منهم. لكن هذا التقسيم ليس هو الوحيد لتصنيف العدد الكبير من أساليب التحليل المكاني المتاحة في نظم المعلومات الجغرافية. فهناك تقسيم آخر قدمه Dana Tomlin وأسماه "النمذجة الكارتوجرافية cartographic modeling أو جبر الخرائط map algebra"، حيث قام بتقسيم طرق إدارة البيانات الشبكية raster إلي ٤ أقسام رئيسية:

١. عمليات محلية local operations : تقوم بفحص كل خلية داخل طبقة وتقارن قيمتها بقيمة نفس الخلية في طبقة أو طبقات أخري.
٢. عمليات بؤرية focal operations : تقوم بمقارنة قيمة كل خلية داخل طبقة بقيمة الخلايا المجاورة (غالبا ٨) في نفس الطبقة.
٣. عمليات شاملة global operations : تقوم بعمل نتائج تصلح للطبقة كلها، مثل حساب قيمة المتوسط.

٤. عمليات شرائحية zonal operations : تقوم بحساب نتائج لشرائح (أو مناطق محددة) في الطبقة بحيث أن كل خلايا الشريحة ستأخذ نفس القيمة.

وهذا التقسيم يسهل عملية البرمجة لإعداد النماذج المكانية، بشرط أن تكون مدخلات و مخرجات النموذج في صورة شبكية. فعلي سبيل المثال فمعادلة جبر الخرائط: A = B + C تدل علي أن قيمة كل خلية في الشبكة A ستكون مجموع قيمتي الخلايا المناظرة في كلا الشبكتين B و C (أي سيتم تنفيذ المعادلة خلية بخلية). ومن أمثلة أدوات برامج نظم المعلومات الجغرافية المبنية علي النمذجة الكارتوجرافية أو جبر الخرائط أداة الآلة الحاسبة الشبكية raster calculator المتاحة في برنامج ArcGIS. كما توجد برامج متخصصة في التحليل المكاني الشبكي مثل برنامج PC Raster المطور بواسطة احدي الجامعات الهولندية (www.pcraster.geog.uu.nl).

١٦-٣ تقنيات النمذجة

يمكن تعريف النموذج علي أنه مجموعة متتالية من العمليات، ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح أدوات النمذجة للمستخدم. والنموذج قد يتم التعبير عنه في صورة اسكريبت script (أي نص مكتوب للأوامر المتتابعة) أو في صورة بصرية مثل خرائط التدفق flowcharts (الشكل ١٦-٣). في البداية كانت إمكانيات البرمجة المتاحة في برامج نظم المعلومات الجغرافية مرهقة و شاقة لأنها كانت تتطلب أن يتعلم المستخدم لغة برمجة محددة تعتمد علي البرنامج المستخدم (مثل لغة Arc Macro Language أو اختصارا AML من شركة ايزري). أما الآن فأصبحت البرمجة تعتمد علي استخدام اللغات العامة في كتابة الاسكريبت، مثل لغات visual basic, Perl, and Python. ومن ثم فأصبح الاسكريبت يتم تطبيقه لتنفيذ عمليات نظم معلومات جغرافية تتطلب مدخلات من المستخدم ثم تعرض النتائج. أيضا ومع انتشار منصات التطبيقات القياسية بين البرامج (مثل Microsoft .Net) أصبح من الممكن أن يشتمل اسكريبت معين استدعاء برنامج آخر، فمثلا يمكن استدعاء وظيفة معينة من برنامج الإكسل ليتم تنفيذها في خطوة محددة من خطوات الاسكريبت.

إن برامج نظم المعلومات الجغرافية غير مصممة في الأساس لتكون منصة لتطوير البرامج، ومهما كانت إمكانيات البرمجة التي تتيحها هذه البرامج فإنها قد تعجز في أحيان كثيرة عن البرمجة، خاصة في حالة التعامل مع قواعد بيانات ضخمة أو الحاجة لعمل خطوات تكرارية في الحسابات iterations. وفي مثل هذه التطبيقات يكون من الأفضل إعداد البرامج باستخدام لغات البرمجة المتخصصة ذات الإمكانيات التقنية العالية (مثل لغة C علي سبيل

المثال) واستدعاء هذه البرامج ليتم تنفيذها داخل برنامج نظم المعلومات الجغرافية للاستفادة من إمكانيات النظم في عرض النتائج بصريا.

تجدر الإشارة لقيام بعض الجهات و الشركات العاملة في مجال نظم المعلومات الجغرافية بتكوين مكتبات للبرامج (اسكريبت) التي يصممها المستخدمين ويريدون مشاركتها مع الآخرين. فعلي سبيل المثال يوجد لدي شركة ايزري موقع Arc Scripts الذي يضم بضعة آلاف من الاسكريبت المصممة للعمل داخل برنامج Arc GIS لتقوم بتنفيذ عدد كبير من التطبيقات البرمجية.

١٦-٤ الطرق متعددة المعايير

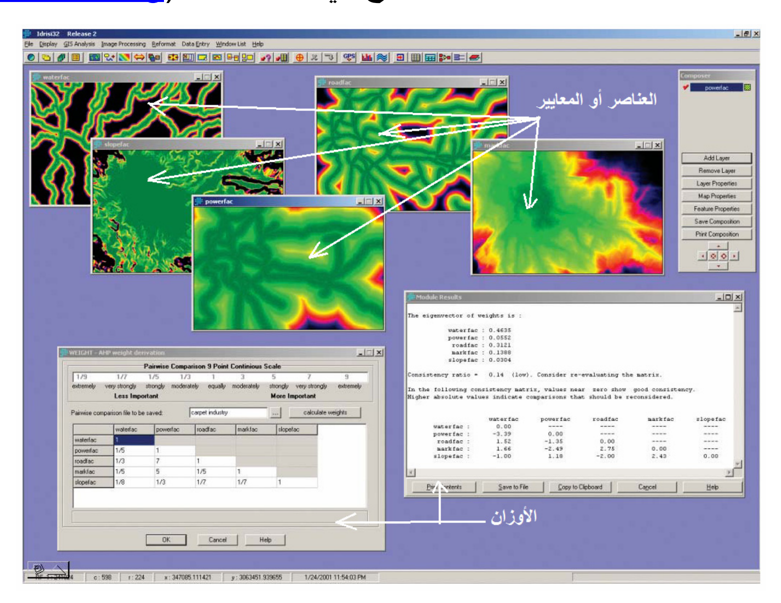
في بعض تطبيقات اتخاذ القرار تكون هناك عدة عوامل تؤثر معا علي الظاهرة قيد الدراسة ويجب أخذها جميعا في الاعتبار. فعلي سبيل المثال عند دراسة ظاهرة نقص المياه الجوفية في بقعة محددة فان الدراسة ستعتمد علي ميول الأرض والمسافات من المجاري المائية و استخدامات الأراضي في هذه المنطقة. ولكل عنصر من هذه العناصر معايير تحدد درجة تأثيره علي المياه الجوفية، فمثلا كلما زادت المسافة من المجاري المائية كلما قل تواجد المياه الجوفية. فإذا أردنا ترجمة هذه المعايير في صورة رياضية فسيكون هناك عدد من العناصر سنرمز لها بالرموز x_1 إلي x_n، وسنرمز لتأثير كل عنصر منهم بدالة $f(x)$، وحيث أن وزن كل عنصر سيكون متغيرا فسنرمز للأوزان بالرمز wi، ومن ثم يمكننا تكوين المعادلة للتعبير عن تأثُير هذه العناصر مجتمعة:

$$l = \sum_{i=1}^{n} w_i f(x_i) \qquad (16\text{-}2)$$

وفي هذه المعادلة يجب تحديد الدالة $f(x_i)$ والوزن x_i لكل عنصر من العناصر، فمثلا دالة عنصر الميل ستكون دالة متناقصة بمعني أنه كلما قل الميل كلما قل تأثير هذا العنصر. ويتم دراسة تأثير كل عنصر أولا، ثم يتم دمج كل هذه التأثيرات معا مع إعطاء الوزن المناسب لكل عنصر (الشكل ١٦-٦).

هذا الأسلوب في النمذجة يسمي بأسلوب اتخاذ القرار بناءا علي معايير متعددة multi-criteria decision making (أو اختصارا MCDM). ومن الممكن أن يتم أخذ آراء الجمهور والاعتماد عليها في تحديد الوزن المناسب لكل عنصر في حالة نظم المعلومات الجغرافية للجمهور PP GIS بحيث تكون عملية اتخاذ القرار عملية تشاركية بين التنفيذيين و الجمهور. كما أن هذا الأسلوب يسمح بدمج تأثير عدد من العناصر الهندسية و البيئية و

الاقتصادية و الاجتماعية قبل اتخاذ القرار الأفضل في المشروعات التنموية. ومعظم برامج نظم المعلومات الجغرافية تتيح إمكانيات النمذجة بالمعايير المتعددة، إلا أن برنامج الإدريسي IDRIS من جامعة كلارك يعد من أفضل البرامج في هذا المجال (www.clarklabs.org).



شكل (١٦-٦) مثال لتطبيقات اتخاذ القرار بناءا علي معايير متعددة

١٦-٥ الدقة و الفعالية: اختبار النماذج

عادة ما تتكون النماذج المكانية من تركيبات معقدة وتكون نتائجها توقعية للمستقبل، لكن هل يمكن اختبار هذه النماذج؟ للأسف فالكثيرون يثقون في نتائج النماذج المكانية بصورة مطلقة طالما أنها ناتجة باستخدام الكمبيوتر. عادة فان العلماء يخابرون نتائج نماذجهم بمقارنتها بالحقائق الفعلية، لمن في حالة النماذج المكانية المستقبلية فلا توجد حقائق فعلية. ومن ثم فيجب اللجوء لطرق أخري لاختبار دقة و جودة النماذج المكانية.

من طرق اختبار جودة النماذج المكانية ما يعرف باسم طريقة الفعالية المتقاطعة cross-validation، وهي الطريقة التي تعتمد علي تقسيم البيانات المتاحة إلي جزأين الأول يستخدم في بناء ومعايرة النموذج calibration والثاني يستخدم في التحقق من فعالية نتائجه validation. ويمكن تطبيق هذه الطريقة بتقسيم البيانات إما إلي جزأين زمنيين (كلا منهما يغطي فترة زمنية مختلفة) أو جزأين مكانيين (كلا منهما يغطي منطقة مكانية مختلفة). لكن يجب اخذ الحيطة في حالة أن الظاهرة قيد الدراسة تتغير مع مرور الزمن أو تتغير بتغير موقعها المكاني.

أيضا يمكن اختبار النماذج المكانية للعالم الحقيقي من خلال التجربة، من خلال التأكد أن كل مركب من مركبات النموذج يعكس الحقيقة فعلا. فمثلا في النماذج الخلوية يجب اختبار أن

الحالة الانتقالية للخلايا تتغير فعلا في الحقيقية كما تبدو نتائجها المستنبطة من النموذج المكاني للنمو العمراني.

إن أي نموذج مكاني لن يمثل العالم الحقيقي المعقد بصورة مثالية، ويجب النظر للنموذج من خلال الاعتبارات التالية:

- يمكن للنموذج المكاني أن يعكس الواقع في الحالات "المثالية"، أي أنه يعد مبدأ لمقارنة الحقيقة.
- لا يمكن تقويم النموذج بناءا علي مدي قربه من الحقيقية، إنما علي مدي تقليله لعدم اليقين uncertainty عن المستقبل. أي أن النتائج المستقبلية للنموذج يجب أن يصاحبها مقاييس منطقية لعدم اليقين.
- النموذج هو وسيلة لبناء المعرفة اعتمادا علي عدد من المصادر ويقدم توصيات تعتمد علي المعلومات التي تم بناؤه منها.
- غالبا فأن النمذجة المكانية تقدم أفضل إطار تحليلي علمي "متاح" لمتخذي القرار في الوقت الراهن.

الباب الخامس: الإدارة

Management

الفصل السابع عشر: إدارة نظام معلومات جغرافي

Managing GIS

الفصل الثامن عشر: نظم المعلومات الجغرافية والإدارة واقتصاد المعرفة

GIS and management, the Knowledge Economy, and information

الفصل السابع عشر

إدارة نظام معلومات جغرافي

١٧-١ مقدمة: النظرة العامة:

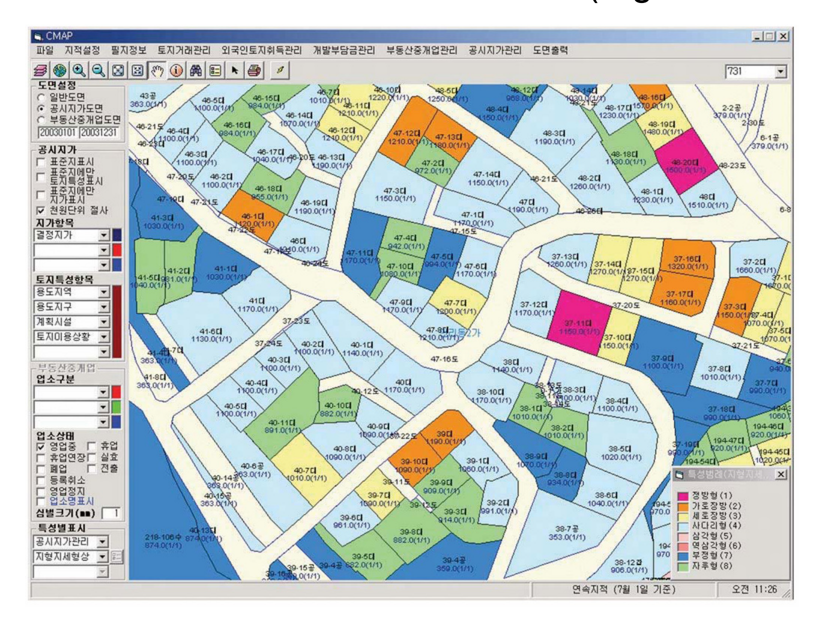
أصبح إنشاء نظام معلومات جغرافي عملا روتينيا وان كان ليس بسيطا، لكن إدارة هذا النظام عملا هاما أيضا لضمان نجاحه. النجاح يتضمن مشاركة الخبرات و المعرفة مع الأفراد و الجهات الأخرى والاستمرار في الحصول علي نتائج طيبة واتخاذ قرارات بصفة دائمة.

عادة يكون السؤال الأول قبل البدء في أية خطوات وهو: هل هناك حاجة لإنشاء نظام معلومات جغرافي؟ وغالبا تكون الإجابة جاهزة عندما نري كيف استفادت المؤسسات المشابهة (في نفس نطاق العمل) من GIS. لكن بصفة عامة يوجد مطلبين و ثلاثة أسباب لإنشاء نظام معلومات جغرافي:

- خفض التكلفة cost reduction : تحل نظم المعلومات الجغرافية محل العمليات التقليدية مثل إنشاء الخرائط وجمع معلومات العملاء و إدارة الموارد، وذلك بكفاءة أعلي.
- تفادي التكلفة cost avoiding : فعلي سبيل المثال تستطيع نظم المعلومات الجغرافية اختيار أفضل المواقع للمنشئات مما يجنب الإنشاء في مواقع خطرة بيئيا، واختيار أنسب مسار لحركة المركبات.
- زيادة الدخل increase revenue : مثل تطوير و بيع الخرائط، وتوفير الاستشارات الفنية (في مجالات العقارات و الموارد الطبيعية مثلا).
- الحصول علي منتجات جديدة getting new products : مثل تطوير و بيع المرئيات الفضائية المسقط عليها بيانات مجسمة ثلاثية الأبعاد ، و تطوير و بيع خطط الإخلاء عند وقوع كوارث بيئية.
- الحصول علي فوائد غير ملموسة getting non-tangible benefits : مثل تقديم خدمات أفضل للعملاء، اتخاذ قرارات أفضل، استخدام المعلومات في كل إدارات المؤسسة بصورة أكثر كفاءة.

والشكل (١٧-١) يقدم مثالا لنظام المعلومات الجغرافي لإدارة الأراضي في مدينة سيول بكوريا الجنوبية، وهو المنشأ منذ عام ١٩٩٨م. ويقدم هذا النظام للجمهور إمكانية عرض بيانات الأراضي من خلال الانترنت، وإمكانية تقدير سعر أي قطعة أرض، بالإضافة لإجراء أية معاملات علي الأراضي بصورة آلية دون الحاجة للذهاب للمكاتب الحكومية المتخصصة.

وتستخدم الحكومة هذا النظام كنظام اتخاذ القرار في عمليات التنمية بالمدينة (في إطار الحكومة الالكترونية e-government).



شكل (١٧-١) نظام إدارة الأراضي في مدينة سيول الكورية

يقدم Roger Tomlinson (وهو من رواد نظم المعلومات الجغرافية علي مستوي العالم) ١٠ خطوات أو مراحل عملية للتخطيط لإنشاء نظام معلومات جغرافي يلبي متطلبات العميل، وتشمل:

١. تحديد الهدف الاستراتيجي: فهذا الهدف هو الذي ينير الطريق أمام باقي مراحل إنشاء النظام، فالنظام الذي يجب إنشاؤه يجب أن يكون ملائما لهدف المؤسسة بصورة عامة.

٢. تخطيط التخطيط: عملية تخطيط إنشاء نظام المعلومات الجغرافية عملية ليست سهلة و تستغرق الوقت و الموارد أيضا، ومن ثم فهناك حاجة لأخذ موافقات وملاحظات المديرين التنفيذيين في المؤسسة.

٣. عمل ورشة عمل علمية: يهدف هذا اللقاء لمناقشة كافة الجوانب العلمية والعملية بين فريق التخطيط لإنشاء GIS وباقي أقسام المؤسسة.

٤. تحديد منتجات المعلومات: تحديد المنتجات التي يسعي GIS لتطويرها وما يمكن الحصول عليه من هذا النظام.

٥. تحديد متطلبات النظام: تحديد المطلوب من أجهزة و برامج و بيانات وفترات زمنية أيضا.

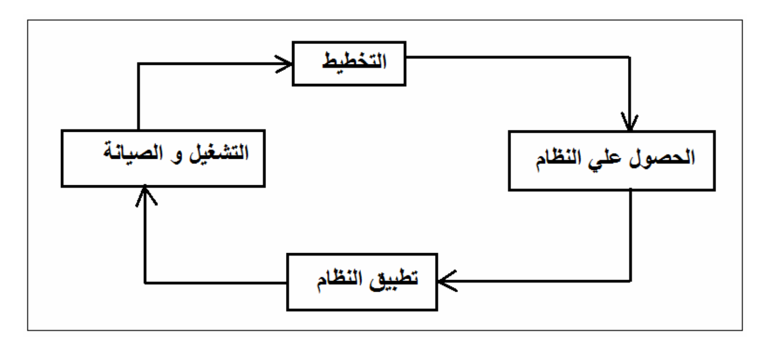
٦. إنشاء تصميم للبيانات: تحديد مصادر البيانات المطلوبة وهل ستكون من المعروض في الانترنت أم سيتم شراء قواعد بيانات تجارية أم سيتم إنشاء قواعد البيانات المطلوبة.
٧. اختيار نموذج البيانات المنطقي: تتيح نماذج البيانات الهدفية إمكانيات جيدة في نظم المعلومات الجغرافية و يجب أخذها في الاعتبار، مع أن نماذج البيانات العلاقية مازالت شائعة.
٨. توفير متطلبات النظام: توفير كافة متطلبات النظام والأخذ في الاعتبار القدرة علي تحديثهم باستمرار.
٩. تحليل المكاسب و الأخطار: إجراء تحليل للتكلفة و المكاسب وأيضا الأخطار المتوقعة.
١٠. وضع خطة التنفيذ: تصميم الخطة التفصيلية لتطبيق نظام المعلومات الجغرافي في المؤسسة.

١٧-٢ عملية تطوير نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة

مشروعات نظم المعلومات الجغرافية مثلها مثل مشروعات تقنيات المعلومات (information technology أو IT) يمكن تقسيمها إلي أربعة مراحل زمنية تشمل:

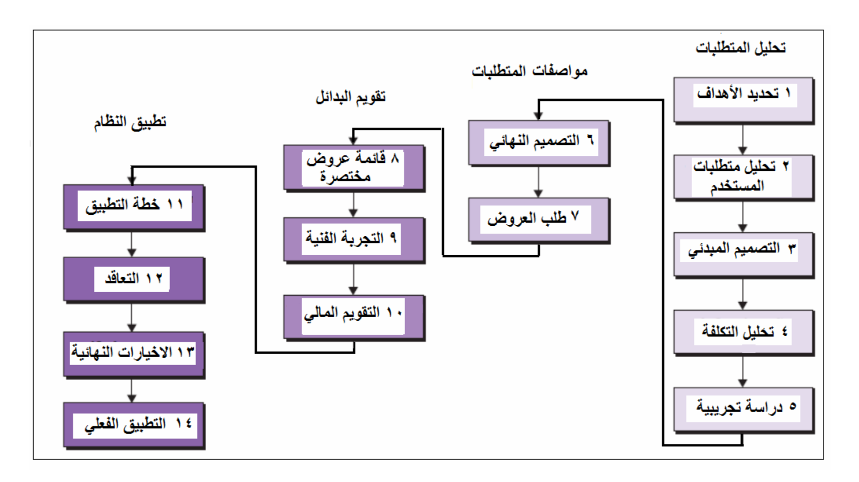
- التخطيط: التحليل الاستراتيجي و جمع المتطلبات.
- الحصول علي النظام: اختيار وشراء نظام.
- تطبيق النظام: تجميع كافة المكونات وتطوير الحلول الفعلية.
- التشغيل و الصيانة: الاستمرارية في عمل النظام.

وقد تكون هذه المراحل تكرارية، فمثلا للمشروعات التي تستمر فترة زمنية طويلة فتحدث تطورات تقنية تستوجب التطوير و الإحلال بصورة مستمرة (الشكل ١٧-٢).



شكل (١٧-٢) مراحل مشروع نظام المعلومات الجغرافية

يعرض الشكل (١٧-٣) نموذجا عاما للحصول علي نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة sustainable GIS (خاصة للمؤسسات الكبيرة)، و النموذج مكون من أربعة مراحل تشمل أربعة عشرة خطوة.



شكل (١٧-٣) نموذج عام لعملية الحصول علي نظام معلومات جغرافي

المرحلة الأولي: تحليل المتطلبات

١. تحديد الأهداف: يتم تحديد أهداف النظام طبقا لأهداف المؤسسة وخطتها الإستراتيجية، وتحديد كيف سيؤثر نظام المعلومات الجغرافي في تنمية المؤسسة.
٢. تحليل متطلبات المستخدم: يحدد هذا التحليل كيف سيتم تصميم و تقويم نظام المعلومات الجغرافي، ويركز التحليل علي نوعية البيانات المستخدمة حاليا ومن يستخدمها وكيف يستخدمها. ويتم التحليل من خلال إجراء القابلات مع منسوبي المؤسسة وعمل ورش العمل، ويتم وضع نتائج التحليل في صورة خريطة تدفق تحدد مصادر البيانات الحالية وتكلفتها وعمليات معالجتها، ومن ثم يمكن عمل تصور لما سيؤدي نظام المعلومات الجغرافي عند تطبيقه.
٣. التصميم المبدئي: تحديد مواصفات عامة للنظام وتصميم مبدئي للنماذج وعمل مسح للنظم المعروضة في الأسواق. وتشمل هذه الخطوة تحديد مواصفات قواعد البيانات من حيث حجم وأنواع البيانات المطلوبة، وأيضا نموذج البيانات الأنسب (نموذج خطي أم شبكي)، بالإضافة لعمل مسح للبرامج التجارية المتاحة في الأسواق وإمكانيات كلا منهم. أيضا يتم - في هذه الخطوة - اتخاذ القرار إن كان سيتم شراء البيانات مباشرة أم سيتم بناؤها.

٤. تحليل التكلفة: عمل تحليل اقتصادي لتكلفة النظام والفوائد المتوقعة من وراءه، وهل سيكون الناتج النهائي مربحا اقتصاديا أم من الأفضل الاستمرار بطريقة العمل الحالية المتبعة في المؤسسة. والجدول التالي يقدم مثالا لهذا التحليل.

المجموعة	التكلفة	الفوائد
الاقتصادية أو الملموسة	- معدات - برامج - تدريب - موظفين جدد - مكان أكبر - تجميع أو شراء البيانات	- خفض التكلفة - مخرجات أكثر - زيادة الدخل - فتح أسواق جديدة - تطوير منتجات جديدة
المؤسسية أو غير الملموسة	- تسريح العمال غير الأكفاء - تخفيض عدد العمال	- قرارات أفضل - تحسين العلاقات مع العملاء - تدفق معلومات أكثر كفاءة - مناخ عمل أفضل

٥. دراسة تجريبية: عمل دراسة لنظام معلومات جغرافي كامل وان كان مصغرا بهدف اختبار كل مكونات المشروع و كفاءتها، مثل اختبار مكونات التصميم ومتطلبات المستخدمين واختبار عينات من البيانات واختبار بسيط للمنتجات المطورة.

المرحلة الثانية: مواصفات المتطلبات

٦. التصميم النهائي: يتم في هذه الخطوة تحديد العناصر النهائية المطلوبة لمشروع نظام المعلومات الجغرافية من تصميم و أجهزة و موارد مالية ...الخ، وبالتالي إعداد وثيقة طلب العروض Request for Proposals لطرحها علي الشركات المتخصصة.

٧. طلب العروض: تشمل وثيقة طلب العروض العناصر المالية والتجارية و القانونية والفترات الزمنية للتنفيذ. ثم يتم طرح هذه الوثيقة للشركات المتخصصة في نظم المعلومات الجغرافية لكي يقدموا عروضهم (الفنية و المالية) التي تلاءم متطلبات المؤسسة.

المرحلة الثالثة: تقويم البدائل

٨. قائمة عروض مختصرة: في حالة تقدم عدد من الشركات بعروض للمؤسسة يتم تقويم كل عرض وإعطاء وزن لكل عنصر من عناصر العرض. ومن الأفضل أن يقوم أكثر من متخصص بعملية تقويم العروض ثم يتم عمل مقارنة بين نتائج كلا منهم للوصول

إلي أفضل تقويم، بحيث ينتج في النهاية عمل قائمة مختصرة تضم أفضل العروض (من ٢ إلي ٤).

٩. التجربة الفنية : يتم عمل تقويم لكل عرض من العروض النهائية، بحيث تقدم كل شركة نموذجا مبدئيا لنظام المعلومات الجغرافية المطلوب ويتم اختبار كل نموذج مقارنة بمتطلبات المؤسسة طبقا للتصميم النهائي المطلوب للنظام.

١٠. التقويم المالي: يتم مقارنة العروض التي اجتازت خطوة التجربة الفنية من وجهة النظر المالية لكل مكون من مكوناتها. وفي نهاية هذه الخطوة يتم عمل ترتيب لعروض الشركات من وجهتي النظر الفنية و المالية.

المرحلة الرابعة: تطبيق النظام

١١. خطة التطبيق: تطوير خطة تطبيق النظام من حيث الأولويات و الفترات الزمنية للتوريد (الأجهزة و البرامج) والاختبار و التدريب والدفع.

١٢. التعاقد: عمل العقد النهائي الذي يحدد كل مكونات المشروع (الفنية و المالية و القانونية) بدقة مع تحديد الاختصاصات و الشروط بين المؤسسة و الشركة الموردة للنظام.

١٣. الاختبارات النهائية: للتأكد من أن البنود التي تم توريدها للمؤسسة مطابقة تماما للمواصفات المطلوبة.

١٤. التطبيق الفعلي: قد يستغرق الحصول علي نظام GIS عدة أشهر أو ربما أطول، وتشمل هذه المرحلة الأخيرة تدريب موظفي المؤسسة وتجميع البيانات وصيانة النظام ومراقبة الأداء.

علي المستوي الإداري هناك عدة نقاط يجب علي مدير مشروع نظم المعلومات الجغرافية أخذها في الاعتبار وتشمل:

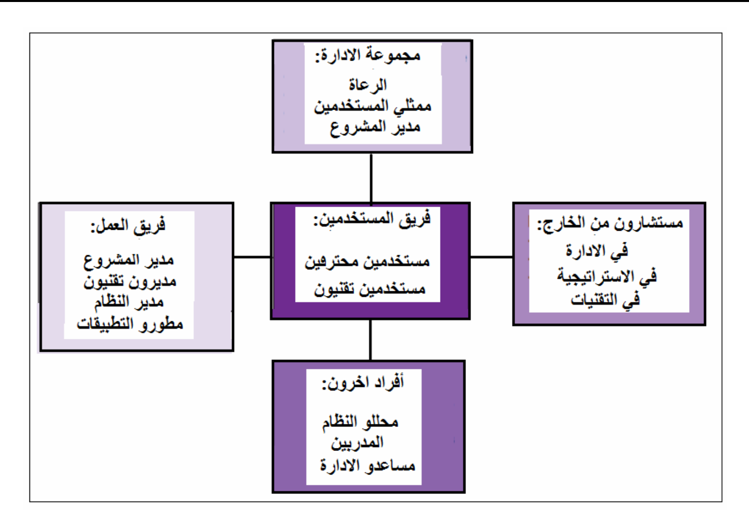
- التخطيط الجيد هو الأساس في كل مرحلة من مراحل المشروع.
- الحصول علي الدعم (من الخبراء والمتخصصين) باستمرار من أساسيات النجاح.
- التواصل مع المستخدمين من البداية هام جدا لمعرفة آرائهم و متطلباتهم.
- المراقبة الدائمة للأداء (الأفراد و الأجهزة و البيانات) هامة لتخطي العقبات الممكن حدوثها.
- عدم السعي وراء الخفض غير المسئول في التكلفة (شراء أجهزة أرخص و توظيف أفراد أقل خبرة).
- التأكد من جودة وأمان البيانات بصورة مستمرة طوال مراحل المشروع.

- حث أفراد المؤسسة علي الاستفادة من نظام المعلومات الجغرافية علي جميع المستويات.
- التخطيط الزمني الدقيق لمراحل المشروع يعود بفوائد اقتصادية جيدة.
- توفير الاعتمادات المالية المطلوبة في موعدها لتفادي أية مشكلات في تنفيذ المشروع.

١٧-٣ فريق العمل قي نظام معلومات جغرافي قابل للاستدامة

"إن لم يعمل كل فرد من أفراد فريق العمل بكفاءة علي المستوي الفردي وعلي المستوي الجماعي فلن يتم الحصول علي مميزات نظام المعلومات الجغرافي" هذه قاعدة رئيسية يجب وضعها في الاعتبار.

يختلف عدد أفرا فريق العمل ودور كلا منهم باختلاف المشروعات، لكن عادة ما يكون هناك "مجلس إدارة" يختار المسئول التنفيذي (المدير) الذي يشرف علي المشروع. أما الأعمال اليومية فتتم من خلال ثلاثة مجموعات: فريق العمل، مستخدمي النظام، مجموعة الاستشارات الخارجية (الشكل ١٧-٤). ويشكل فريق عمل نظم المعلومات الجغرافية GIS team الأفراد المتخصصين الذين لديهم خبرات تقنية مناسبة ومعرفة جيدة بطبيعة عمل المؤسسة، ويقود هذا الفريق مدير نظم المعلومات الجغرافية GIS manager. يتكون مستخدمي النظام GIS users في المؤسسة من قسمين: مستخدمين محترفين ومستخدمين تقنيين. فالمحترفون (مثل المهندسين والمخططين والعلماء) لديهم خبرات عالية كلا في تخصصه، وربما ليس لديهم معرفة كبيرة بنظم المعلومات الجغرافية لكنهم عادة مستعدين للتعلم. أما المستخدمين التقنيين فربما يتم توظيفهم في المشروع داخل المؤسسة للقيام بعمليات مثل تجميع البيانات وإنتاج الخرائط. أما الفريق الثالث فهو الذي تلجأ إليه المؤسسات الكبرى لطلب الدعم و الاستشارات من خارج المؤسسة ذاتها. وهؤلاء قد يكونون خبراء في الإدارة أو خبراء إستراتيجيون أو خبراء تقنيون. وقد يتم النظر لهذا الفريق الثالث علي أنه "غير ضروري ومكلف"، إلا أنه في الحقيقة يعد إضافة كبيرة لمشروع نظم المعلومات الجغرافية خاصة في حالة أن المعرفة الداخلية للمؤسسة أو مواردها محدودة.



شكل (١٧-٤) فريق العمل لمشروع نظام معلومات جغرافي بمؤسسة كبري

الفصل الثامن عشر

نظم المعلومات الجغرافية والإدارة واقتصاد المعرفة

١٨-١ الإدارة ونجاح نظم المعلومات الجغرافية:

لدي الكثير من الناس فأن الإدارة تتضمن عمل روتيني لضمان أن التعليمات و الخطوات العملية يتم تطبيقها وأهداف الإنتاج يتم تحقيقها. لكن حاليا فان المديرون مطالبون بتوقع الفرص وأيضا المخاطر المستقبلية، واتخاذ ما يلزم من قرارات لتغيير العالم المحلي. فعلي المدير ان يتابع باستمرار التغيرات في أهداف المؤسسة التي يعمل (أو تعمل) بها، بل و المساعدة في تحقيق هذه التغيرات. فالإدارة هامة للغاية في نجاح أي مشروع، فلم تنجح شركة مايكروسوفت لأنها تنتج برامج جيدة بل لأنها إدارة جيدة وأفراد أذكياء. وفي عالمنا الحديث فأن العلوم و التقنيات الحديثة ليست كافية للنجاح. وهناك عدد من النقاط التي يجب أخذها في الاعتبار، وتشمل:

- يسبب الأفراد مشاكل أكبر من التي تسببها التقنيات.
- تتغير التقنيات وأيضا توقعات المستخدمين بسرعة.
- عدم اليقين متواجد معنا بصورة دائمة مهما اختلفت درجاته.
- عدم الاعتماد علي أن منتجات مؤسسة معينة لا يوجد مثيل أي منافس لها.
- لعملاء أي نظام فكرة ثابتة عما يريدونه، لكن هذا يتغير مع الزمن.
- لمشروعات نظم المعلومات الجغرافية تأثيرات مبهرة (حتى وان كانت غير مباشرة) ويجب استثمارها.
- يجب ملاحظة الفروق بين الثقافات المحلية و الإقليمية عند تطبيق نظم المعلومات الجغرافية، فعلي سبيل المثال عندما أطلقت مايكروسوفت نظام التشغيل ويندوز ٩٥ كانت هناك بعض الأخطاء الحدودية بين الهند و باكستان في خريطة المناطق الزمنية، مما أدي لسحب ٢٠٠،٠٠٠ نسخة من البرنامج مما كلف الشركة ملايين الدولارات!.

تعتمد الإدارة الجيدة لمشروع نظام معلومات جغرافي علي بذل جهد أكبر والذكاء والقدرة علي تقبل انتقادات الآخرين. فالجزء التقني في مشروعات نظم المعلومات الجغرافية (اقتناء أحدث البرامج و المعدات والبيانات) ليس كافيا للنجاح. فمن العوامل الهامة الأخرى الأخذ في الاعتبار الأوجه الإنسانية والمؤسسية للوصول إلي أفضل النتائج. فيجب العمل علي نشر الوعي بفوائد التقنيات الحديثة علي مستوي الأفراد ومستوي المؤسسة ككل حتى يكون هناك تقبل عام للمشروع.

١٨-٢ مهارات العاملين فى نظم المعلومات الجغرافية:

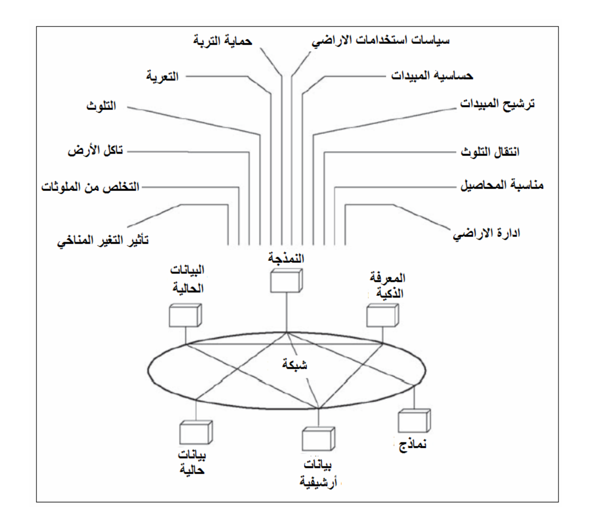
تختلف مهارات العاملين في مجال نظم المعلومات الجغرافية بدرجة كبيرة، وفي دراسة للوظائف المتاحة في هذا المجال وجد أن ٤٠% تتعلق بوظائف محللين نظم GIS analysts و ٢٥% للفنيين و ٢٢% للمديرين و ١٠% للمبرمجين.

توجد عدة أنواع من مقررات التعليم و التدريب المتاحة في مجال نظم المعلومات الجغرافية وتشمل:

- مقررات تدريبية لبرنامج software ، وعادة ما تقدمها الشركات المنتجة للبرامج ذاتها.
- مقررات تطوير البرامج وغالبا ما تكون ضمن مقررات أقسام علوم الحاسب بالجامعات.
- التعليم الجامعي ويشمل درجات البكالوريوس في أقسام الجغرافيا والبيئة و الجيوماتكس و المساحة.
- التعليم بعد الجامعي ويشمل درجتي الماجستير و الدكتوراه.
- مقررات قصيرة للمحترفين وعادة ما تكون من متطلبات رخص العمل أو متطلبات الترقية في العمل.

١٨-٣ نظم المعلومات الجغرافية والتنمية المستدامة

تعرف التنمية المستدامة sustainable development (في أحد تعريفاتها) علي أنها التنمية التي تسعي لإيجاد حياة صحية متلائمة مع الطبيعة تراعي المتطلبات البيئية للأجيال الحالية و المستقبلية. ومن ثم فأن التنمية المستدامة تتضمن تطبيق النمذجة لمحاكاة التأثيرات المتوسطة و البعيدة المدى لعمليات التنمية باستخدام عدة مصادر للبيانات المكانية. وهنا فأن نظم المعلومات الجغرافية ستلعب دورا بالغ الأهمية في التنمية المستدامة لما لها من إمكانيات في التعامل مع عدة أنواع من البيانات في مراحل الجمع و التحليل و النمذجة (شكل ١٨-١). وبالفعل فقد استخدمت نظم المعلومات الجغرافية بكثافة في العقدين الماضيين في مجالات تقليل المخاطر الناجمة عن الكوارث الطبيعية (مثل السيول و الانزلاقات الأرضية) ودراسة الآثار الناجمة عن المخاطر الطبيعية (مثل ظاهرة الاحتباس الحراري و ظاهرة ارتفاع منسوب سطح البحر) وكذلك تطبيقات تحديد الآثار البيئية للمشروعات الجديدة، بالإضافة لمشروعات التخطيط الحضري و الإقليمي.

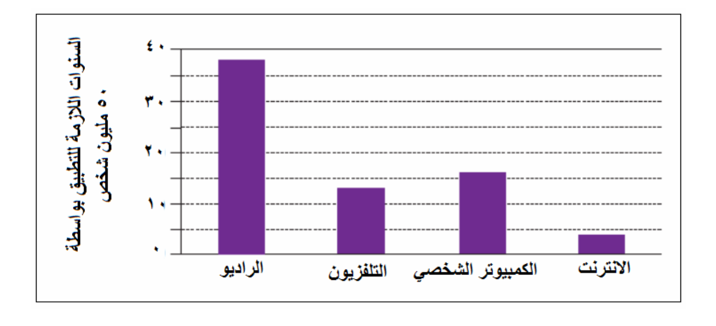


شكل (١٨-١) نظم المعلومات الجغرافية و دعم التخطيط و التنمية المستدامة

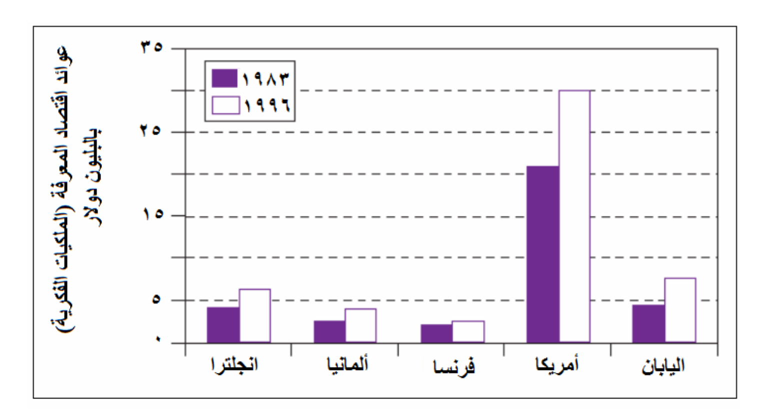
١٨-٤ اقتصاد المعرفة و نظم المعلومات الجغرافية

اقتصاد المعرفة knowledge economy هو استخدام الاقتصاد لجعل الأشياء تعمل بكفاءة أعلي، وأيضا لابتكار واستخدام أنواع جديدة من المعرفة، ومن ثم فأن الابتكارات المستمرة تعد أهم قواعد اقتصاد المعرفة. ويمكن تعريف الابتكارات innovations علي أنها الاستثمار الناجح للأفكار الجديدة، وغالبا ما يتضمن تقنيات جديدة أو تطبيقات تقنية جديدة. وللمستهلكين فأن الابتكارات تعني جودة أعلي وقيمة أفضل وخدمات أكثر كفاءة ومعايير أعلي للحياة. والشركات و المؤسسات التي تعتمد علي الابتكارات ستضمن فوائد أعلي لملاكها والمستثمرين بها، وتضمن لموظفيها بيئة عمل أفضل ومهارات أحسن وعائد أعلي.

في عالمنا الحاضر أصبح الناس أكثر تقبلا للابتكارات وتطبيقها بسرعة أكبر، فالشكل (١٨-٢) يوضح عدد السنوات التي استغرقتها الابتكارات الجديدة ليقتنيها ٥٠ مليون شخص في أمريكا، ومنه نلاحظ أن تقبل الابتكارات الحديثة صار سيتم بسرعة كبيرة حاليا. كما أن العوائد الاقتصادية من ترخيص و بيع منتجات ابتكاريه جديدة قد زادت بسرعة في السنوات الأخيرة (الشكل ١٨-٣).



شكل (١٨-٢) سرعة تقبل الابتكارات الجديدة



شكل (١٨-٣) عوائد اقتصاد المعرفة

تعد المعلومات من أهم أسباب الوصول للقرار السليم، ومعلومات جيدة تعني في معظم الأحيان قرارات جيدة أيضا. لكن في بعض الحالات فأن متخذي القرار يعانون من وجود كم هائل من المعلومات المتداخلة (خاصة غير المتعلقة بالموضوع). وتلعب نظم المعلومات الجغرافية دورا بارزا في اقتصاد المعرفة، فبرامج نظم المعلومات الجغرافية تتابع في إصداراتها السنوية مما يفتح دائما الباب أمام تطبيقات ومجالات جديدة لهذه النظم. وفي المشروعات الكبيرة فأن نظم المعلومات الجغرافية تقدم عدة فوائد للمديرين وتشمل:

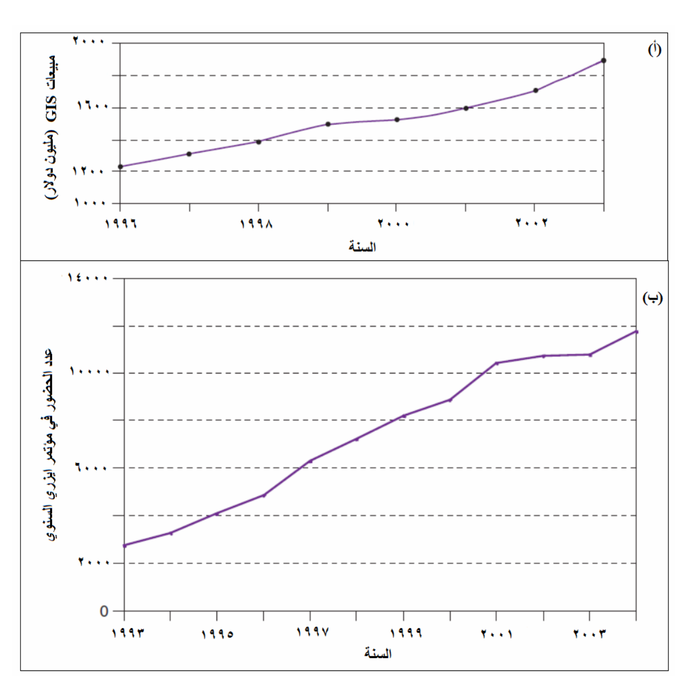
- تقديم معلومات واقعية عن مواقع الموارد المتاحة سواء الطبيعية أو البشرية.
- تقديم حسابات واقعية، مثل التلوث في حدود خمسة كيلومترات من نقطة محددة، أفضل المسارات علي شبكة معينة ...الخ.
- إمكانيات اختيار و تمثيل المعلومات لتسهيل عملية اتخاذ القرار.
- البحث عن الانتظام أو العشوائية في أنماط التوزيعات الجغرافية والارتباط بينهم، فمثلا هل الإنفاق علي سلع معينة يرتبط بالمسافة بين المنزل و المتجر؟.
- تطوير القيمة المضافة من خلال ربط معلومات من عدة مصادر، مما يوسع من الفرص الممكنة للتطبيقات.
- التنبؤ بالأحداث المستقبلية المرتبطة بالموقع المكاني.

مع الانتشار الهائل لاستخدام شبكة الانترنت علي المستوي العالمي فقد أضاف ذلك عدة مميزات لسوق تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ومنها:

- سهولة استخدام أدوات المعلومات المكانية المتوافرة علي الشبكة.
- إمكانية الحصول علي و تطبيق عينة من المعلومات المكانية للتحقق من جدواها في تطبيق أو مشروع معين.

- القدرة علي الاختيار (برامج و بيانات) بين عدد كبير من البدائل.
- القدرة علي تحويل البيانات الجغرافية الضخمة بتكلفة بسيطة.
- سرعة الحصول علي البيانات المكانية.
- دفع تكلفة الحصول علي البيانات بسرعة أيضا (من خلال بطاقات الائتمان).

إن نظم المعلومات الجغرافية أصبحت سوقا هاما في حد ذاته سواء علي المستوي الاقتصادي أو علي مستوي الاهتمام المتزايد بها عالميا. فالشكل (١٨-٤ أ) يقدم مثالا لنمو أرباح سوق نظم المعلومات الجغرافية علي المستوي العالمي، بينما يعرض الشكل (ب) النمو المتسارع في عدد الحاضرين للمؤتمر السنوي الذي تقيمه شركة ايزري. وهذا علي الجانب التجاري للمؤسسات الخاصة، بينما علي مستوي الجهات الحكومية فالأرقام ستكون أكبر بكثير. فعلي سبيل المثال فأن ميزانية هيئة المساحة العسكرية الأمريكية فقط تتخطي حاجز المليار دولار. ويقدر المحللون أن معدل نمو سوق نظم المعلومات الجغرافية في الولايات المتحدة الأمريكية يبلغ ١٠.٩% سنويا في الفترة ٢٠١٢-٢٠١٦، بينما يبلغ ٩.٦% علي المستوي العالمي.



شكل (١٨-٤) أمثلة لنمو سوق نظم المعلومات الجغرافية

المراجع

Brimicombe, A., (2010) GIS, environmental modeling, and engineering, 2nd edition, CRC Press, New York, UA.

DeMers, M. (2009) GIS for dummies, Wiley Publishing Inc., Indiana, USA.

Dodge, M., McDerby, M., and Yuner, M. (Eds.) (2008) Geographic visualization: Concepts, tools, and applications, Jon Wiley & Sons, Chichester, England.

Galati, S. (2006) Geographic Information Systems demystified, Artech House, Boston, USA.

Harvey, F. (2008) A primer of GIS: Fundamental geographic and cartographic concepts, The Guilfored press, New York, USA.

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., and Rhind, D. (2005) Geographical information systems and science, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England.

Mackaness, W., Ruas, A., and Sarjakoski, L., (Eds.) (2007) Generalization of geographic information: Cartographic modeling and applications, Elsevier, New York, USA.

van Oosterom, P., Zalatanova, S., Penninga, F., and Fendel, E. (Eds.) (2008) Advances in 3D geo-information systems, Springer, Berlin, Germany.

Verbyla, D., (2002) Practical GIS analysis, Taylor & Francis, New York, USA.

Yang, C., Wong, D., Miao, Q., and Yang, R. (Eds.) (2011) Advances geo-information science, CRC Press, New Yprk, USA.

ملحق رقم ١

ملفات تدريبية باللغة العربية على الانترنت

أولا: ملفات فيديو لمحاضرات علمية عامة

نظم المعلومات الجغرافية: أسس علمية:

الجزء الأول:

http://youtu.be/TzxnG3iSYYs

الجزء الثاني:

http://youtu.be/rBPytfnU0FM

التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية:

الجزء الأول:

http://youtu.be/ueqm-jFrfUQ

الجزء الثاني:

http://youtu.be/buDf9FMnjM0

الجيوماتكس:

http://youtu.be/oqP0jROrjYc

الهندسة المساحية:

http://youtu.be/cUj9XgOW-7M

الخرائط: أسس علمية:

الجزء الأول:

http://youtu.be/u2148AXIG70

الجزء الثاني:

http://youtu.be/vZN4pp4ud3g

الجيوديسيا: أسس علمية:

الجزء الأول:

http://youtu.be/NdJ1xV1QqAA

الجزء الثاني:

http://youtu.be/uU-BLz-O3rQ

الصور الجوية و المرئيات الفضائية:

الجزء الأول:

http://youtu.be/Dty61-5dSpo

الجزء الثاني:

http://youtu.be/0M0R9UrCUDs

توسعة المسجد الحرام عبر التاريخ:

النسخة العربية:

http://youtu.be/oJ-dUlHkLpg

النسخة الانجليزية:

http://youtu.be/bb52H1c_Z6M

الرفع المساحي بالجي بي أس:

الجزء الأول:

http://youtu.be/2D_ZIvNo6rA

الجزء الثاني:

http://youtu.be/UtZFq2kGhTQ

جغرافية مصر باستخدام نظم المعلومات الجغرافية:

http://youtu.be/kU5wertjKVo

جغرافية مدينة مكة المكرمة و المشاعر المقدسة

http://youtu.be/6TxI1L4kK1w

ثانيا: ملفات فيديو عملية للتدريب على برنامج Arc GIS

دورة فيديو تدريبية عن Arc GIS : المستوى الأول عن عمل الخرائط الرقمية:

الدرس ١: أساسيات البرنامج

http://youtu.be/jiZsuWL45vo

الدرس ٢: الإرجاع الجغرافي

http://youtu.be/am8S2oZJ-W0

الدرس ٣: إنشاء الطبقات

http://youtu.be/CNC3JegcxUI

الدرس ٤: ترقيم المضلعات

http://youtu.be/NiW4OJnp4Ec

الدرس ٥: ترقيم الخطوط و النقاط

http://youtu.be/Ehv1bKHNNQ8

الدرس ٦: البيانات غير المكانية

http://youtu.be/D5jeWnx0hdE

الدرس ٧: إخراج الخريطة

http://youtu.be/C2yvzCFiMkg

الدرس ٨: خرائط التوزيعات

http://youtu.be/72vrqWjWYtw

دورة فيديو تدريبية عن Arc GIS : المستوى الثاني عن تحليل البيانات:

الدرس ١: التحليل الإحصائي

http://youtu.be/UP2X3GY-Q2c

الدرس ٢: الجزء الأول من التحليل الهندسي

http://youtu.be/J5_v5z3lOr0

الدرس ٣: الجزء الثاني من التحليل الهندسي

http://youtu.be/vhDwaeYbXdw

الدرس ٤: الجزء الأول من التحليل المكاني

http://youtu.be/4wJVjtqhgW4

الدرس ٥: الجزء الثاني من التحليل المكاني

http://youtu.be/4T6mbitZ1W8

الدرس ٦: تحليل التراكب

http://youtu.be/FP5F0ox7vHc

الدرس ٧: تحليل الاقتراب

http://youtu.be/Yp1jvgR4WvU

الدرس ٨: إنشاء السطوح

http://youtu.be/0AsoYF4xrJE

الدرس ٩: التحليل الطبوغرافي

http://youtu.be/VEsBSYM7MmQ

الدرس ١٠: التحليل الهيدرولوجي

http://youtu.be/2hNx_ARw9iI

الدرس ١١: الملائمة المكانية

http://youtu.be/GtmtCO4zgug

ثالثا: كتب باللغة العربية:

المدخل إلي الخرائط الرقمية:

http://www.academia.edu/1228037/Computer_Mapping_in_Arabic_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/sktltH1z/__2012.html

التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية:

http://www.academia.edu/2005738/_GIS_Spatial_Analysis_in_Arabic_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/HvM0Ay-K/2012.html

المدخل إلي الخرائط:

http://www.academia.edu/4489179/_An_Introduction_to_Maps_in_ARABIC_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/4uxcDpt8/___2013.html

مبادئ المساحة:

http://www.academia.edu/1536378/Principles_of_Surveying_in_ARABIC_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/W7ZVbmUR/__2012.html

مقدمة في الصور الجوية و المرئيات الفضائية:

http://www.academia.edu/4349921/An_Introduction_to_Aerial_Photographs_and_Satellite_Images_in_ARABIC_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/79bhYBKb/_____2013.html

الجيوماتكس: علم المعلوماتية الأرضية

http://www.academia.edu/4954764/Geomatics_in_Arabic_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/_kV-o1gx/_2014.html

المدخل إلي النظام العالمي لتحديد المواقع:

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Books/819875/An_Introduction_to_GPS_in_ARABIC_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/cF64h3W2/_____2010.html

أسس المساحة الجيوديسية و الجي بي أس:

http://www.academia.edu/1823906/_Geodetic_Syrveys_and_GPS_in_ARABIC_

وأيضا:

http://www.4shared.com/office/kCpAymjl/2012.html

رابعا: ملفات تعليمية:

الدليل التدريبي لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Map :

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25547/An_ARABIC_Tutorial_for_ArcMAP_GIS_software_

الدليل التدريبي لبرنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Toolbox :

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25548/An_ARABIC_Tutorial_to_ArcTollBox_GIS_Program_

شرح بعض أدوات برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc Toolbox :

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25549/Few_ArcToolBox_Commands_in_ARABIC_

تحميل ملفات نموذج الارتفاعات الرقمية SRTM3 :

http://nwrc-egypt.academia.edu/GomaaDawod/Teaching/25557/SRTM_DEM_in_ARABIC_

نبذة عن المؤلف



- الدكتور جمعة محمد داود محمود من مواليد السويس بجمهورية مصر العربية في عام ١٩٦٢م (الموافق ١٣٨٣هـ).
- حصل علي درجة البكالوريوس في الهندسة المساحية في عام ١٩٨٥م من كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها بمصر ، ودرجة الماجستير من قسم العلوم الجيوديسية والمساحة من جامعة ولاية أوهايو بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٩١م، ودرجة الدكتوراه في عام ١٩٩٨م من كلية الهندسة بشبرا، جامعة بنها بمصر.
- حصل د. جمعة داود علي درجة أستاذ مشارك في عام ٢٠٠٤م وكذلك درجة الأستاذية في الهندسة المساحية في عام ٢٠٠٩م (١٤٢٩ هـ).
- يعمل د. جمعة داود منذ عام ١٩٨٧م بمعهد بحوث المساحة بوزارة الموارد المائية والري بمصر، وعمل بجامعة أم القرى بمكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية في الفترة ٢٠٠٥-٢٠١٤م (١٤٢٦-١٤٣٥ هـ).
- فاز د. جمعة داود بجائزة أفضل بحث في المساحة في مصر في أعوام ٢٠٠٥، ٢٠٠٦، ٢٠٠٧، ٢٠٠٩م كما تم اختياره في الموسوعة الدولية للعلوم والهندسة Who is Who للفترة ٢٠١١-٢٠١٢م.
- نشر د. جمعة داود حتى الآن خمسون بحثا في الجيوماتكس منهم عشرون ورقة علمية في مجلات عالمية و مؤتمرات دولية في كل من الولايات المتحدة الأمريكية و انجلترا و ايطاليا و استراليا بالإضافة للنشر في مجلات و مؤتمرات في كلا من المملكة العربية السعودية و مملكة البحرين والمملكة المغربية و جمهورية مصر العربية، كما نشر ٩ كتب باللغة العربية في مجالات و تقنيات الجيوماتكس.
- د. جمعة داود متزوج من د. هدي فيصل الباحثة بمعهد بحوث المساحة وله ثلاثة أبناء مصطفي و محمد و سلمي.
- حج د. جمعة داود بيت الله الحرام أربعة مرات وأعتمر عدة مرات.